

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет електроніки
(повна назва інституту/факультету)

мікроелектроніки
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ (підпис)

_____ (ініціали, прізвище)

“ ____ ” _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності: 153.01 мікроелектронні інформаційні системи _____
(код і назва)

на тему: Чутливі структури наноструктурований кремній - меланін

Виконав (-ла): студент (-ка) 2 курсу, групи ДП-82мп
(шифр групи)

_____ Волинський Дмитро Павлович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник _____ проф., д.т.н. Якименко Ю.І. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Науковий консультант _____ доц., к.т.н. Обухова Т.Ю. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант з нормоконтролю _____ проф., к.т.н. Орлов А.Т. _____
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Консультант з інформаційних питань _____ доц., к.т.н. Діденко Ю.В. _____
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут (факультет) факультет електроніки
(повна назва)

Кафедра мікроелектроніки
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність 153.01. мікроелектронні інформаційні системи
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

_____ (підпис) _____ (ініціали, прізвище)
«__» _____ 20__ р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту**

Волинський Дмитро Павлович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Чутливі структури наноструктурований кремній - меланін,
науковий керівник дисертації проф. д.т.н. Якименко Ю.І. _____ ,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «__» _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання студентом дисертації

3. Об'єкт дослідження Структури пористий кремній - меланін

4. Предмет дослідження Зміна електрофізичних параметрів в залежності від зміни концентрації аналіту

5. Перелік завдань, які потрібно розробити літературний огляд за темою дисертації, дослідження впливу технології отримання зразків на їх електрофізичні параметри, дослідження зміни електрофізичних параметрів в залежності від концентрації глюкози.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу

Постанова задачі, структура датчика, технологія отримання, схема вимірювання, залежність ВАХ від технології отримання.

7. Орієнтовний перелік публікацій

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Науково дослідна частина	Доц., к.т.н. Обухова Т.Ю.		

9. Дата видачі завдання

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Літературний огляд за темою дисертації		
2	Теоретичні та експериментальні дослідження ВАХ від технології отримання та струму від концентрації глюкози		
3	Оформлення дисертації		
4	Попередній захист		

Студент

(підпис)

Д.П. Волинський

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

Ю.І. Якименко

(ініціали, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника магістерської дисертації.

АНОТАЦІЯ

Чутливі структури наноструктурований кремній – меланін: дипломний проект магістра. / Волинський Д.П., група ДП-82мп, спеціальність «153.01. Мікроелектронні інформаційні системи». Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського», кафедра мікроелектроніки. 2019р.

Дипломний проект обсягом на 115 ст., містить 78 ілюстративних матеріалів, 148 таблиць, 5 формул, та 18 інформаційних джерел за переліком посилань.

Метою роботи є дослідження вольт-амперних характеристик структур пористий кремній – меланін та чутливості структур до глюкози, порівняння характеристик досліджуваних зразків.

Об'єкт дослідження – структури пористий кремній – меланін.

Предмет дослідження – зміна електрофізичних параметрів в залежності від зміни концентрації аналіту.

Ключові слова: наноструктура, пористий кремній, меланін, наноструктурований чутливий шар, глюкози, аналіт, чутливість до глюкози, коефіцієнт випрямлення, вольт-амперні характеристики.

SUMMARY

Sensitive structures nanostructured silicon - melanin: Master's diploma project. / Volynskyi D.P/, group DP-82mp, specialty «153.01. Microelectronic Information Systems». National Technical University of Ukraine «I. Sikorski Kyiv Polytechnic Institute». Department of Microelectronics. 2019.

The diploma project consists 115 pages and contains 78 illustrations, 148 tables, 5 formulas, and 18 information sources in the list of references.

The goal of the work is to study the current-voltage characteristics of structures of porous silicon - melanin and sensitivity of structures to glucose and compare the characteristics of the samples.

Object of the work - structures of porous silicon - melanin.

The subject of the study is the change of electrophysical parameters depending on the change in the analyte concentration.

Keywords: nanostructure, porous silicon, melanin, nanostructured sensitive layer, glucose, analyte, glucose sensitivity, rectification factor, current-voltage characteristics.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	7
ВСТУП	8
1. ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ МЕЛАНІНУ	9
1.1. Меланін для молекулярної фотоелектроніки	9
1.2. Напівпровідникові властивості меланіну	11
1.3. Застосування: меланіновий квантовий чіп	13
1.4. Меланінова плівка	15
1.5. Екологічний акумулятор на основі меланіну	16
1.6. Меланін як активний шар в біосенсорах	17
1.7. Висновки до розділу	25
2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	26
2.1. Виготовлення зразків	26
2.2. Проведення вимірювань	27
2.3. Результати вимірювань	99
2.4. Висновки до розділу	100
3. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ	101
3.1. Опис ідеї проекту	101
3.2. Технологічний аудит ідеї	103
3.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	103
3.4. Розроблення ринкової стратегії проекту	108
3.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	110
3.6. Висновки до розділу	112
4. ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	113
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	114

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ЕПР - Електронний парамагнітний резонанс

ЯМР - Ядерний магнітний резонанс

ISFET - ion-sensitive field-effect transistor

EGFET - gate filed effect transistor

SEM - scanning electron microscope

AFM – atomic force microscope

Por-Si – пористий кремній

Mel – меланін

Au – золото

Ag – срібло

Cu – мідь

ВАХ – вольт-амперна характеристика

I – сила струму

U – напруга

R – опір

K – коефіцієнт випрямлення

C – концентрація глюкози

α – чутливість

у.о. – умовні одиниці

ВСТУП

В даний час широкий інтерес представляють фізичні ефекти в перспективних матеріалах і нанорозмірних структурах для створення компонентів електронної техніки. Такими структурами, в першу чергу, є двовимірні структури у вигляді шарів нано-розмірів, одновимірні - квантові нитки або дроти, і нульмірні - квантові точки.

Наразі, в якості сучасних наноконпонентів електроніки можуть використовуватися різні за своїми фізичними і хімічними властивостями структури і наноматеріали. Це, як правило, різні за складом речовини, що мають різні хімічні зв'язки і будову кристалічної решітки, а також некристалічні з'єднання і біооб'єкти - нуклеїнові кислоти, протеїни, віруси, клітини. Для створення електронних компонентів сучасні наноструктури використовують різні поєднання наведених матеріалів.

Пористий кремній та меланін привертає увагу дослідників у зв'язку з широким спектром своїх потенційних застосувань. У разі пористого кремнію за рахунок високої питомої поверхні цей вплив стає більш ефективним і сенсори мають високу чутливість. Зазвичай такі датчики фіксують зміну ємнісних, провідних, люмінесцентних властивостей пористого кремнію та меланіну при наявності в контрольованому середовищі заданих молекул і хімічних сполук. Цікавим видається застосування в якості робочого елемента біохімічних і біологічних сенсорів. Однак широке застосування не здійснено до сих пір через складність в управлінні властивостями меланіну та пористого шару кремнію.

1. ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ МЕЛАНІНУ

1.1. МЕЛАНІН ДЛЯ МОЛЕКУЛЯРНОЇ ФОТОЕЛЕКТРОНІКИ

Розвиток сучасної молекулярної фотоелектроніки заснована на використанні нових молекулярних відомостях як низькомолекулярних так і високомолекулярних. Новим перспективним органічним матеріалом, що володіє унікальними, багатфункціональними властивостями є водорозчинний меланін.

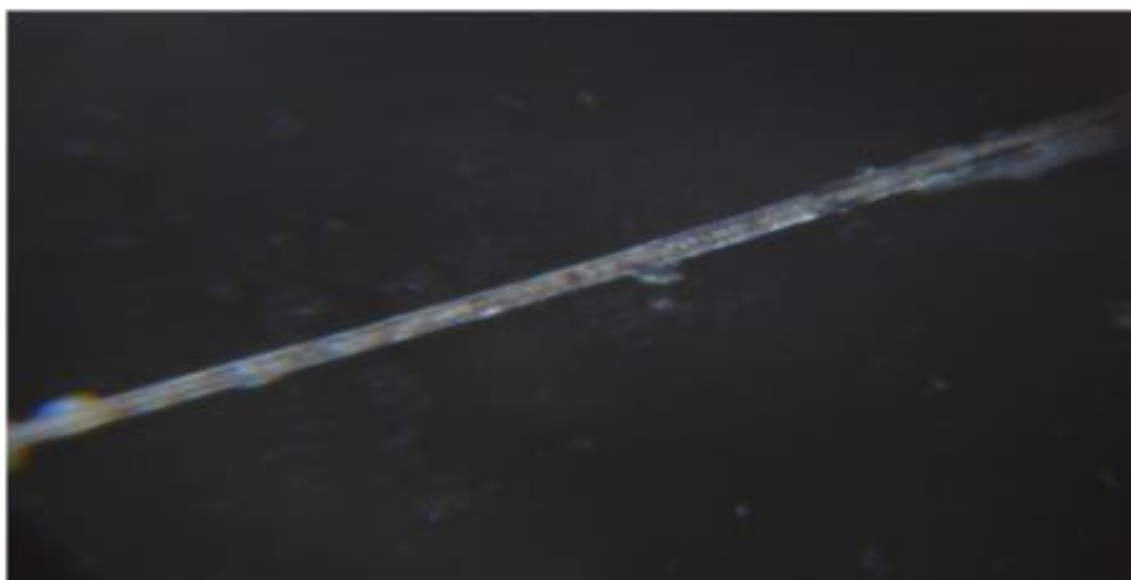


Рис.1.1. Кристалічні утворення меланінових структур [1]

На рисунку зображено кристалічні утворення меланінових структур. Меланін знаходиться всередині трубочки, коричневого кольору. Як речовина, яка володіє напівпровідниковими властивостями, меланін відомий з 70-тих років, коли було вперше встановлено що він проявляє ефект перемикання зі слабопровідного стану в високопровідний при наявності відносно невеликих електричних полів. Меланін поєднує в собі структурні властивості органічного біополімера і спектральних властивостей, які більш характерні для неупорядкованих органічних напівпровідників. Пізніше також було показано, що меланін, в широкій області спектра, має фотовольтаїчну чутливість, яка істотно залежить від

ступеня впорядкованості його структури. Наші попередні дослідження показали, що в плівках меланіну утворюються нанокластери, які можуть утворювати пакетні структури. Така нанокластерна структура декількома переважаючими типами кластерів визначає незвичайні фізичні властивості даної речовини, зокрема його фотоелектричні характеристики. У реалізації практичного застосування меланіну в молекулярній електроніці основне значення має можливість цілеспрямованого отримання наноструктурованих (впорядкованих) плівкових шарів. Такі шари, в поєднанні з іншими органічними напівпровідниками в різних видах композитів і гетероструктур, можуть бути використані для розробки нових фотовольтаїчних сонячних елементів, органічних світлодіодів, польових транзисторів, інших базових електронних елементів. Також заслуговує на увагу напрямки створення на основі впорядкованого меланіну рідких структурованих композитів для їх використання електричних фоточутливих комірок, так звані комірки Гретцеля [1].

Застосування водорозчинного меланіну, в якості компонента органічного сонячного елемента, може дозволити вирішити ряд проблем, таких як: речовина, яка поглинає світло в широкій спектральній області, є стабільною, а при створенні орієнтованої в певному напрямку впорядкованої плівки має високу рухливість носіїв заряду.

1.2. НАПІВПРОВІДНИКОВІ ВЛАСТИВОСТІ МЕЛАНІНУ

До групи меланінів званих загальною назвою «меланін» відносяться продукти полімеризації (пігменти) деяких окислювальних фенолів. Вони часто пов'язані з білками. Такий пігмент може утворитися, наприклад, при метаболічних перетвореннях тирозину в результаті утворення диоксифенилаланина і індол хінона.

Мономер може також знаходитися в окислювальному або відновному стані. Дослідження структури пігментів даного типу проводяться методом ЕПР. Електронний парамагнітний резонанс (ЕПР) - явище резонансного поглинання електромагнітного випромінювання парамагнітною речовиною, яка поміщена в постійне магнітне поле. Було виявлено, що ці речовини характеризуються порівняно високим вмістом неспарених електронів, причому їх концентрація збільшується при опроміненні досліджуваних зразків. Досить підстав щоб припустити, що в нескінченно довгому полімері такого типу повинні виникати енергетичні зони. Була висунута гіпотеза, що для полімерного ланцюга, складеного з хіноїдних одиниць, існує загальна делокалізована вільна молекулярна орбіталь, через що меланіновий полімер повинен вести себе як одновимірний напівпровідник, в якому електронними пастками є зв'язані протони. Ці припущення були в якійсь мірі підтверджені розрахунками, які дозволили, крім того, з'ясувати розташування заповнених енергетичних зон [1].

З розгляду цих величин можна зробити висновок, по-перше, слід, відзначити, що індол 5.6 хінон характеризується дуже низьким положенням нижчої вільної орбіталі, внаслідок чого він повинен бути хорошим акцептором електронів. По друге в димері, в якому число орбіт подвоюється, спостерігається досить рідкісне явище: вільна нижча молекулярна орбіта є сполучною (енергетичний коефіцієнт K для цієї орбіти

позитивний), цей факт повинен відповідати досить різко вираженим електроноакцепторним властивостям цього з'єднання.

Отримані результати дозволяють зробити припущення про те, що повинно спостерігатися в цьому відношенні в разі великого полімерного пігменту.

Вихідні молекулярні орбіти повинні перетворитися в енергетичні зони, причому вільна нижча зона буде мати енергію, характерну для зв'язуючої орбіти. Таким чином, електроноакцепторна здатність полімеру повинна бути досить високою. У той же час, відстань між вищою зайнятою і нижчою вільною зонами має бути дуже малою, близько 0.2 В. Тому електрон повинен дуже легко переходити з вищої заповненої зони в нижчу вільну. Таким чином, електрони повинні легко заповнювати вільну нижчу енергетичну зону або в результаті захоплення електронів з навколишнього середовища. Все це задовільно пояснюється експериментальними фактами про наявність неспарених електронів в цих з'єднаннях, а також їх напівпровідникові властивості.

1.3. ЗАСТОСУВАННЯ: МЕЛАНІНОВИЙ КВАНТОВИЙ ЧІП

Розвиток електроніки перейшло на рівень створення нового покоління обчислювальної техніки - квантовий комп'ютер. Перевага квантового комп'ютера полягає в тому, що квантовий комп'ютер оперує при обчисленнях квантовими станами або кубітами, виконується паралельна обробка відразу всіх комплексних імпульсів кубітів. Тоді як для класичного комп'ютера подібна операція зажадала певну кількість окремих елементарних «кроків».

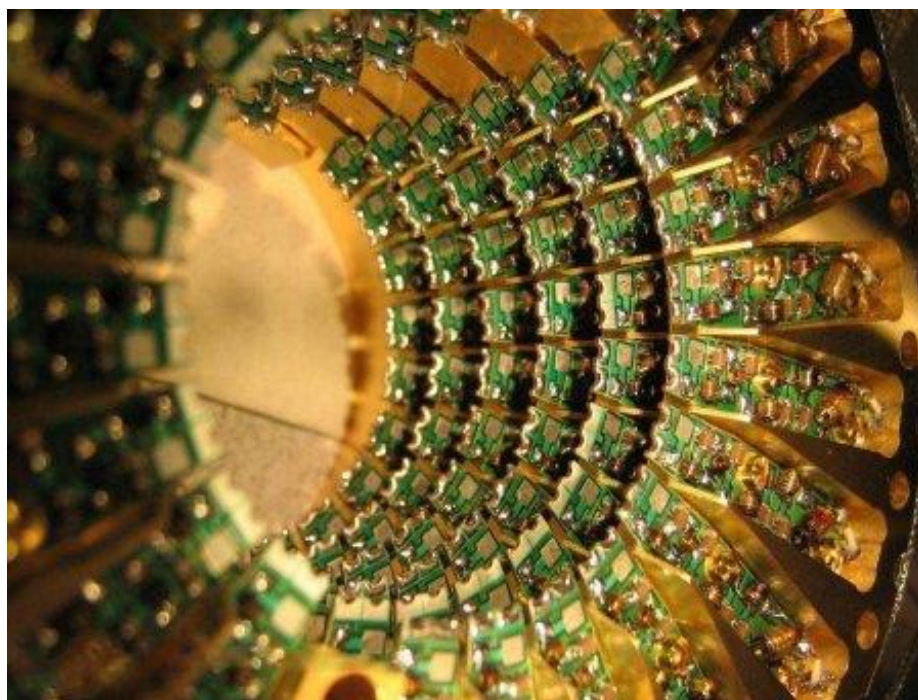


Рис.1.2. Квантовий чіп на основі меланіну [2]

Використовуючи всього кілька сотень кубітів, можна представити одночасно більше чисел, що є атомів у всесвіті. Володіючи плівковою технологією на основі водорозчинного меланіну, ми здатні отримувати плівки нанорозмірів з впорядкованими парамагнітним центрами меланіну. Створення на основі меланінової плівки твердотільного квантового комп'ютера працюючого на електронних спінах. Меланін - це велика парамагнітна молекула з великою кількістю неспарених електронів. У

меланіні, при відсутності зовнішнього постійного магнітного поля, неспарені електрони мають однакову енергію. При накладенні магнітного поля високої однорідності завдяки ефекту просторового квантування неспарені електрони виявляються розподіленими на двох різних енергетичних рівнях. На нижньому енергетичному рівні спіни електронів орієнтовані паралельно напрямку магнітного поля, а на верхньому - антипаралельно. Якщо на меланін подати електромагнітне випромінювання, квант енергії дорівнюватиме різниці між цими енергетичними рівнями (резонансна частота), відбудеться поглинання енергії випромінювання електронами, розташованими на нижньому рівні, і перехід їх на верхній енергетичний рівень з одночасною зміною спіна. При цьому частина електронів, що випромінює квант електромагнітної енергії, переходить на нижній рівень (індукована емісія). У звичайних умовах на цьому рівні завжди знаходиться трохи більше неспарених електронів, ніж на верхньому і тому поглинання, як правило, підвищує індуковану емісію. Тому електрон в меланіні легко переходить з вищої заповненої зони в нижчу вільну. Дослідження парамагнітних центрів молекули меланіну ЕПР (електронно-парамагнітним резонансом) і ЯМР (ядерним магнітним резонансом) лежить в основі роботи квантового комп'ютера. Робота квантового комп'ютера на основі електронних спінів (ЕПР) має перевагу перед ядерними спінами (ЯМР) так як робота з електронними спінами задовольняє вимогам тонкого спінового переходу між електронами і ядром для введення і зчитування квантових даних. Кожен парамагнетичний центр має свою частоту резонансу в даному магнітному полі. При впливі імпульсом на резонансній частоті одного з парамагнітних центрів, починають реагувати на імпульс, інші парамагнітні центри «мовчать». Для того, щоб змусити реагувати на імпульс інший парамагнетичний центр, треба взяти іншу частоту і дати імпульс на неї. У магнітному полі частота ЕПР дорівнює 56 ГГц, і, через високу зєємановські енергії, електронні спіни

дозволяють працювати аж до частот в гігагерцевому діапазоні, в той час як ядерні спіни (ЯМР) дозволяють працювати тільки до 75 кГц. У молекулі меланіну є прямий зв'язок між спінами, які є заготівлею, основою, базою для квантового комп'ютера і самим спектрометром ЯМР і ЕПР, готовим «процесором» для цього квантового комп'ютера.

1.4. МЕЛАНІНОВА ПЛІВКА

Водорозчинний меланін застосовується в електронній промисловості. Водорозчинний меланін є органічним напівпровідником. Вперше в світі на основі водорозчинного меланіну була отримана меланінова напівпровідникова плівка.

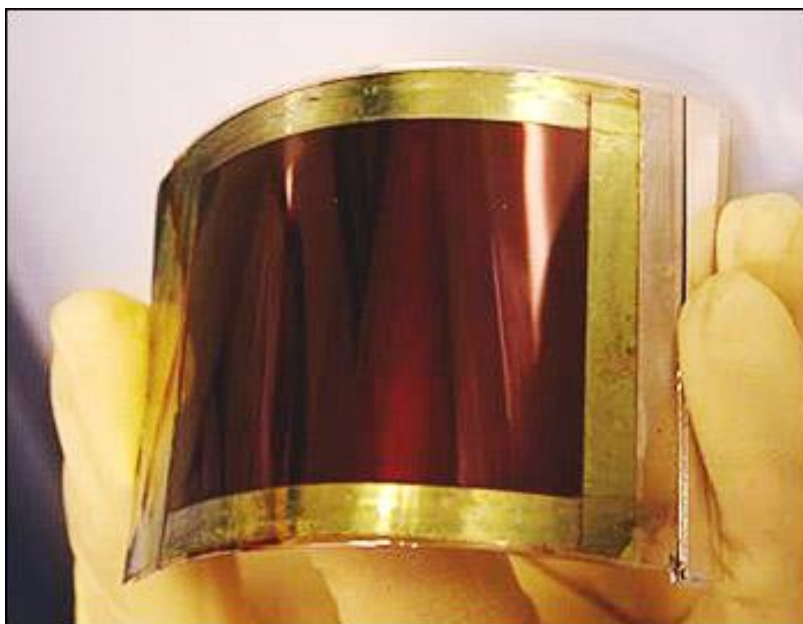


Рис.1.3. Меланінова напівпровідникова плівка [3]

Виготовлення меланінової напівпровідникової плівки стає реальним в промисловому виробництві генераторів перетворюючих енергію сонячного світла в електрику (сонячні батареї). Параметри органічних напівпровідників не досліджені, тому меланінову напівпровідникову плівку

порівнювали з неорганічними напівпровідниками. Меланінова напівпровідникова плівка генерує електричні характеристики при проходженні світла схожі на Cd_2O_4 і CdO_2 від 2.1 електрона вольта при створенні багатошарової системи проходження світла «бутербродної» вище 4 електрона вольта [3]. Таку «бутербродну» конструкцію можна виготовити для кремнієвих напівпровідників. На основі водорозчинного меланіну є реальним створення електроніки нового покоління на основі меланінового органічного напівпровідника. Водорозчинний меланін - це єдиний і неповторний, рідкий, органічний напівпровідник живої природи [4].

1.5. ЕКОЛОГІЧНИЙ АККУМУЛЯТОР НА ОСНОВІ МЕЛАНІНУ

Американські вчені створили акумулятор на основі пігменту меланіну. Літій-іонні акумулятори широко використовуються в електроніці, але літій є дуже токсичною речовиною, тому вимагає більш екологічної заміни. Дослідники з Університету Карнегі - Меллона (Піттсбург, США) в своїй інноваційній розробці для створення анода в акумуляторі використовували пігмент меланін. У процесі створення акумулятора в меланін вводилися іони натрію, після чого отримана суміш містилася в сталеву сітку. «Ми виявили, що пігменти меланіну в чорнилі каракатиці можуть ідеально підходити для використання в електродах батарей для приладів, які контактують з живою тканиною», - повідомив, один з розробників, професор Крістофер Беттінгер. Батарейка, створена за такою технологією, змогла пропрацювати п'ять годин на одному заряді [4]. Вчені вбачають у своєму винаході можливість поліпшити роботу медичної сфери. Так, акумулятори можна буде застосовувати при доставці ліків або внутрішнього моніторингу стану пацієнта. Також вони були б корисні у використанні разом з медичними імплантатами, які вимагають автономного електричного живлення.

1.6. МЕЛАНІН ЯК АКТИВНИЙ ШАР В БІОСЕНСОРАХ

Протягом останніх кількох років замість традиційних іоночутливих транзисторів з польовим ефектом (ISFET) замість традиційного вимірювання концентрації рН та іонів (EGFET) були використані розширені транзистори затвора (EGFET) завдяки гнучкої структури, в якій чутливий шар осідає на розширеному затворі що ізолює FET від хімічного середовища, сприяючи підвищенню довгострокової стабільності EGFET. Біосенсиори, чутливі до рН, широко вивчені, оскільки мають багато застосувань, особливо в моніторингу біологічних систем, таких як кров, а також для хімічного аналізу та моніторингу навколишнього середовища [4].

Існує багато варіантів матеріалів, які можна використовувати як іоночутливі шари. Однак існує безперервний пошук шарів з підвищеною чутливістю, спеціально з використанням матеріалів, таких як біомолекули, які можуть виявити чутливість, порівняну з неорганічними датчиками. Останні дослідження показують, що ці датчики можуть мати високу чутливість залежно від використововуваного матеріалу, як датчики на основі оксиду цинку мають чутливість 38 мВ / рН, оксид олова 56–58 мВ / рН та оксид олову індію 55 мВ / рН. Що стосується органічних напівпровідників, які, як правило, менше використовуються, наноструктурований поліанілін та полівініл сульфенова кислота мають чутливість 58 мВ / рН, вуглецеві нанотрубки з 50,9 мВ / рН, та гібридні матеріали, такі як оксид ванадію / гексадецил амін, 38,1 мВ / рН [5].

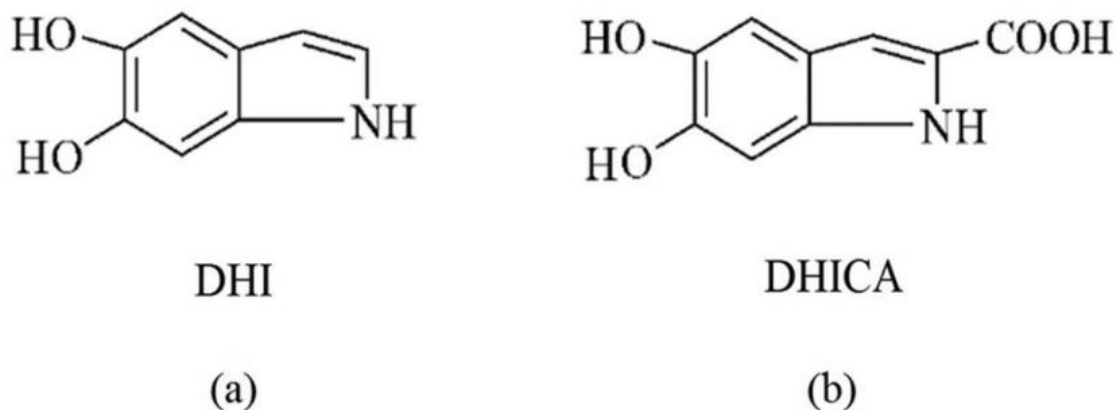


Рис.1.4. Структури мономерів основних компонентів меланіну: а) 5,6-дигідроксиіндол-хінон (DHI) і б) 5,6-дигідроксиіндол-2-карбонова кислота (DHICA) [9]

Перспективним біомакромолекулярним напівпровідником для застосування в якості датчика рН є меланін. Меланіни - це клас пігментно кон'югованої біомакромолекули, що зустрічається в багатьох біологічних системах, а також отриманий синтетичними процедурами. Меланіни не мають широкої молекулярної закономірності, і вважається, що його структура в основному складається з макромолекул неупорядкованих компонувань 5,6 дигідроксиіндол-хінону (DHI) та 5,6 - дигідроксиіндол - 2 - карбонової кислоти (DHICA)[10].

Структурні особливості меланінів роблять їх цікавими кандидатами для застосування в EGFET, завдяки великій кількості потенційних зв'язків іонів H^+ ; дві гідроксильні групи ароматичного кільця, хінон-імін та гідроксильна група карбонової кислоти у випадку DHICA[10].

Плівки меланіну демонструють поведінку напівпровідників залежно від вмісту води. Більш важливим для поточної програми є те, що це електронний та іонний провідник. У цьому контексті наш інтерес полягає у дослідженні здатності меланіну діяти як чутливий шар в EGFET, вивчаючи вплив різних параметрів на чутливість цих датчиків та дослідити фізичні

механізми, пов'язані з функціонуванням біосенсорів EGFET на основі меланіну.

Меланін синтезувався шляхом окислення L-3- (3,4 дигідроксифеніл) - аланіну (L-Dopa) у водному середовищі. Процедура синтезу була описана в іншому місці. Порошок меланіну використовували для приготування трьох різних розчинів, відповідно додаючи 700 мг (розчин I), 500 мг (розчин II) і 300 мг (розчин III) меланіну до суміші 5 мл деіонізованої води та 10 мл концентрованого гідроксиду амонію (28%). Розчини перемішували при кімнатній температурі протягом 1 години, а потім ультразвуком протягом наступної години. Подальші центрифугування проводили протягом 15 хв при 3500 об / хв, щоб видалити залишки частинок. Супернатанти використовували в якості вихідних розчинів для отримання тонких плівок меланіну[6].

Тонкі плівки меланіну отримували з трьох різних розчинів (I, II і III), осаджених спіновим покриттям (2000 об / хв, 1 хв) і називали плівками А, В і С відповідно. Були використані різні підкладки з площею поверхні 1,0 см × 2,5 см: скло з окисом оксиду індію (ІТО - яке має питомий опір 70–100 Ом / площину та товщиною 680 нм) та скло з напиленням із золота (100 нм товщини та питомого опору 3 Ом / площину)[7].

Товщину та однорідність меланінових плівок аналізували за допомогою вимірювальної електронної мікроскопії (SEM) за допомогою мікроскопа JEOL 6510 LV [13]. Поверхневу морфологію меланінових плівок досліджували за допомогою мікроскопії атомної сили (AFM) за допомогою скануючого мікроскопа SPM-9600 від компанії Shimadzu, що працює в режимі витоку. Мікроскоп був обладнаний стандартними кремнієвими зондами з кінчиком консолей довжиною 124 мкм у формі піраміди на основі багатокутника висотою 10–15 мкм і типовим радіусом кривизни менше 10 нм [14]. Номінальна пружинна константа використовуваної консолі коливалася від 34 до 51 Н / м. Сигнали висоти та

відхилення записувались одночасно. Всі досліди проводилися на повітрі [11].

Електрохімічна імпедансна спектроскопія (EIS) була використана для дослідження електрохімічних властивостей різних меланінових тонких плівок [8]. Дві однакові плівки меланіну на підкладці ІТО були запечатані паралельно один одному за допомогою термопластичного прокладки (EAF-230, Adhesive Films, Inc. США) товщиною 35 мкм, що дало симетричні 0,25 см² комірки вимірювання [8]. Через вакуумну систему для зворотного наповнення підготовлені вимірювальні комірки наповнювали різними буферними розчинами рН. Вимірювання імпедансу проводили в діапазоні частот від 100 Гц до 100 кГц, з'єднуючи підсилювач блокування 7265 DPS (відновлення сигналу) з постачальником електроживлення 33220A (Agilent). Всі дані були зібрані та проаналізовані за допомогою програми Agilent VEE, щоб визначити характерні електрохімічні параметри. Отримані графіки Найквіста аналізували і визначали ємність плівок за допомогою еквівалентної схеми, де опір (R_e) знаходиться послідовно з постійним фазовим елементом (CPE), який використовується замість ідеального конденсатора, щоб врахувати шорсткість і недосконалості поверхні електрода [12].

Пристрої EGFET були виготовлені з використанням тонких плівок меланіну (А, В і С) в якості активного шару, прикріпленого до затвору комерційного CD4007UB MOSFET [10]. Слабкі до меланіну шари занурювали в буферні розчини фосфату / цитрату 0,1 моль / л (діапазон рН від 2 до 12) спільно з контрольним електродом хлориду срібла ($Ag_0 / AgCl$) при кімнатній температурі. Вплив загальної напруги джерела затвора (V_{GS}) та загальної напруги стоку-джерела (V_{DS}) на кінцевий струм зливного джерела (I_{DS}) було вивчено як функція рН, а відповіді датчиків були отримані комп'ютерним керуванням Agilent 34970A аналізатором параметрів [15].

На рисунку 5 показано зображення поперечного перерізу типової плівки меланіну з використанням SEM. Товщина плівок, осаджених з розчинів I, II і III, визначених за зображеннями SEM, становила відповідно 400 нм, 267 нм і 233 нм.

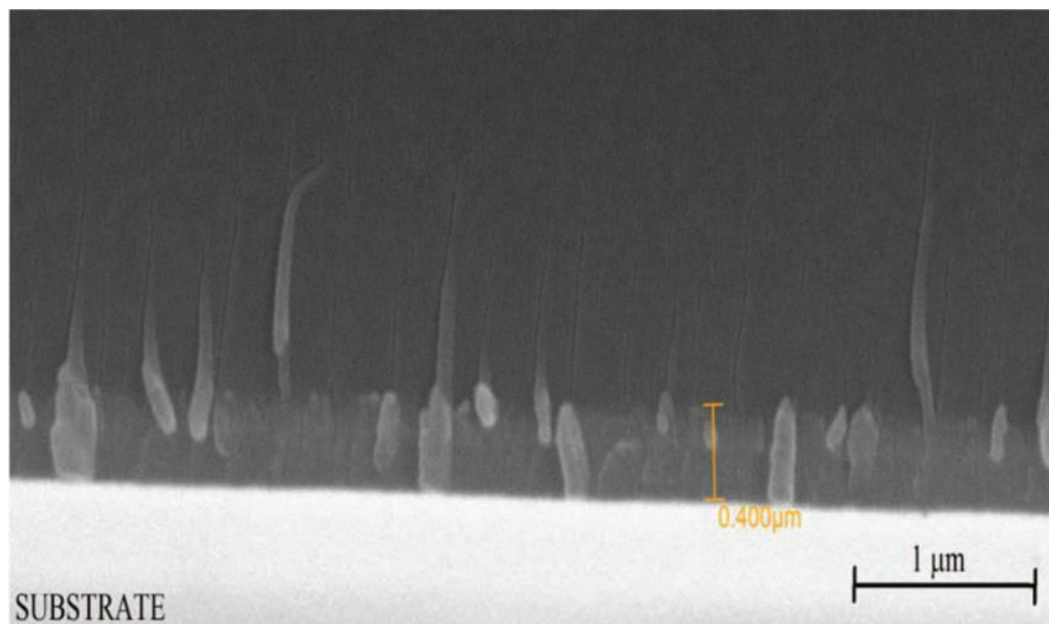
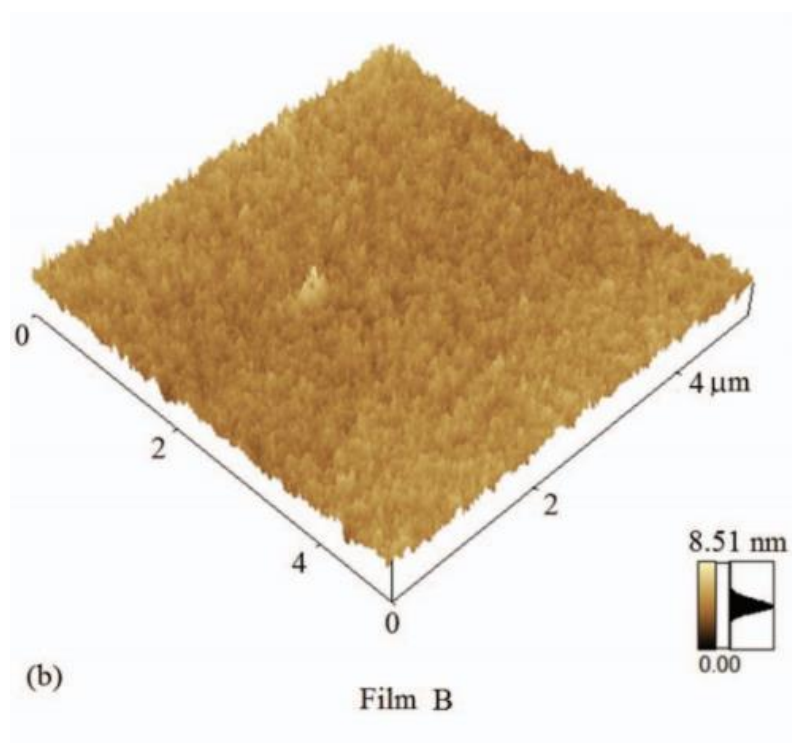
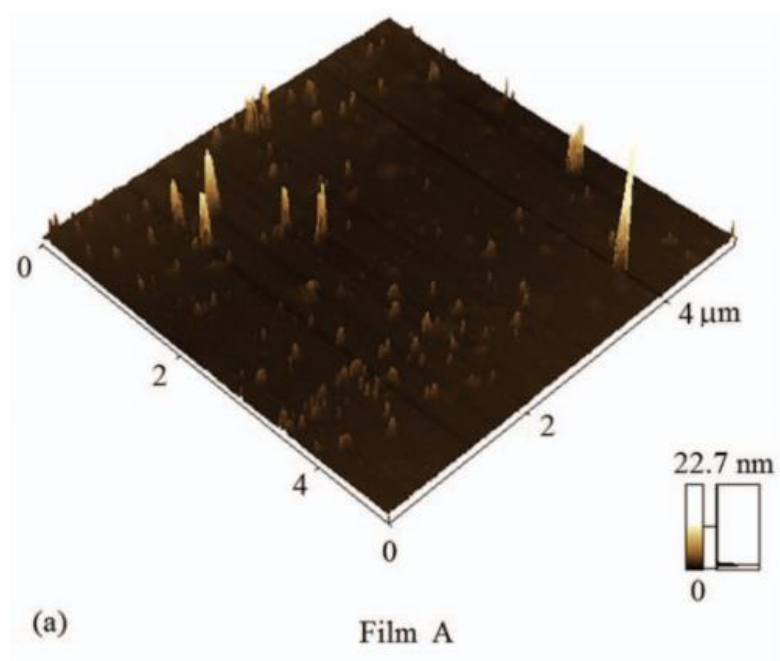


Рис.1.5. Поперечний переріз типової плівки меланіну з використанням SEM [10]

Аналіз морфології меланінових плівок AFM представлений на малюнку 6, де можна спостерігати різну шорсткість у тонких плівках А, В і С. Для зони аналізу $5\text{ мкм} \times 5\text{ мкм}$, плівок А, В і С мали шорсткість поверхні 0,467 нм, 0,560 нм і 0,530 нм відповідно [13].



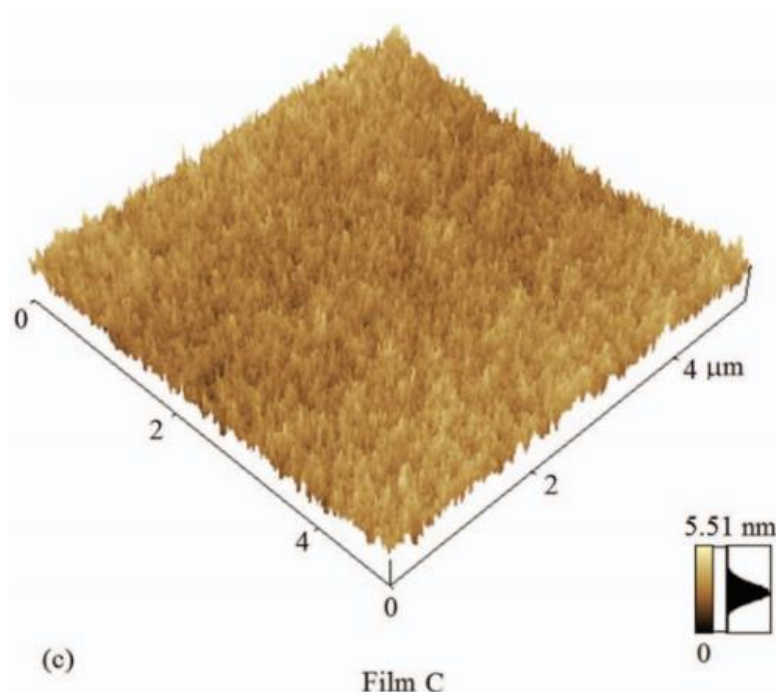


Рис.1.6. Зображення розмірами 5 мкм × 5 мкм, отримані за допомогою мікроскопії атомної сили для характеристики меланінових тонких плівок (а) А, (б) В і (в) С. Код кольору на глибину показаний на етикетках [10]

Електрохімічні імпедансні спектроскопічні вимірювання (EIS) показали, що всі клітини, виготовлені за допомогою плівок меланіну, показали поведінку, що нагадує ємність (хоча не є ідеальним конденсатором). Імпеданс Z елемента CPE залежно від частоти ω можна отримати з рівняння, де Q_0 - константа, що відноситься до ефективної ємності, j - уявна одиниця, а n - дійсне число від 0 до 1. Для всіх Проаналізовані плівки n значення були близькими до 1, що свідчить про те, що Q_0 в основному є ємністю систем [10].

$$Z = \frac{1}{Q_0 (j\omega)^n} \quad (1.1)$$

На підставі вище приведених дослідів можна віднести два механізми взаємодії між розчином електроліту та плівками меланіну: генерація

потенціалу на цьому інтерфейсі та іонний потік через плівку. Перший механізм виникає завдяки прямій адсорбції іонів у площині Гельмгольца, яка регулюється pK_a місць зв'язування меланіну. У розчинах із значеннями pH нижче 4,2 усі гідроксильні групи меланіну протоновані, що призводить до вищого зливного струму джерела (Ід). З підвищенням pH вище pK_a деяких функціональних груп доступні менше сайти зв'язування, що знижує струм. Другий механізм - це дифузія протонів із шару Гуй-Чапмана електроліту в плівку. У цьому випадку, чим вище pH розчину електроліту, тим нижче подача іонів H^+ , тим менший потенціал, що утворюється на поверхні плівки, а отже, і менший струм, виміряний у датчику [16].

Загальний заряд, який може бути адсорбований на активному шарі датчика, також залежить від властивостей поверхні плівки, і такі поведінки можуть впливати на такі важливі фактори, як шорсткість плівки. Наші результати показують, що порівняно з плівками А і С плівка В демонструє більшу шорсткість поверхні або більш високу ефективну площу поверхні, і, отже, більше сайтів для зв'язування H^+ . Плівка А, крім меншої шорсткості поверхні, може мати більш компактну структуру через більш високу концентрацію розчину попередника, що може негативно впливати на транспорт заряду. Ця гіпотеза була підтверджена результатами вимірювань імпедансної спектроскопії, які показали, що плівка В має меншу ємність, ніж плівка А, незалежна від pH [17]. Тому було встановлено, що опір переносу електронів, а також імпедансу збільшується при збільшенні товщини плівки.

Використання меланіну як активного шару в пристроях EGFET є досить перспективним. Меланін легко осаджується, має велику кількість водневих ділянок, і це аморфний характер сприяє його хорошій чутливості.

Тонкі плівки меланіну використовуються як активний шар в датчиках pH EGFET з хорошою чутливістю. Показано, що такі параметри, як концентрація розчину, що використовується для осадження, і субстрату

впливають на чутливість датчика. Більш висока шорсткість поверхні забезпечувала більші ефективні області зондування. Запропонована проста модель з адекватним описом фізичних процесів. Застосування меланіну в цьому виді EGFET цікаве завдяки його низькій вартості та простоті переробки [18].

1.7. ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ

Меланін є органічною сполукою, яка дає досить вагомій перспективі застосування в електроніці. Ця органічна сполука привертає увагу дослідників у зв'язку з широким спектром своїх потенційних можливостей. Вже за відомими дослідженнями виявлено, що меланін, при певних умовах, веде себе як напівпровідник та проявляє високу чутливість. Датчики фіксують зміну ємнісних, провідних, люмінесцентних властивостей пористого кремнію та меланіну при наявності в контрольованому середовищі заданих молекул і хімічних сполук. Отже, меланін, як чутливий біокомпонент, стає цікавим об'єктом дослідження в багатьох сферах діяльності. Тому він стає головним об'єктом дослідження в даній роботі.

2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 ВИГОТОВЛЕННЯ ЗРАЗКІВ

Експериментальною частиною стало виготовлення зразків $\text{por-Si} - \text{melanin}$ з різними параметрами травлення та напилення, дослідження характеристик цих зразків та перевірки чутливості до глюкози.

Виготовлення зразків складається з наступних етапів.

1. На початку досліджень маємо зріз монокристалічного кремнію. Цей зріз було порізано на пластини приблизно однакового розміру у відповідності до вимог вимірювального стенду. Кількість - 16 зразків.
2. На другому етапі стає питання обробки поверхні зразків для проведення подальших досліджень. По-перше обробка проводиться у розчині перекису водню та аміаку. Готовий розчин доводять до кипіння, обробка проходить протягом 10 хвилин. Після обробки зразки промиваються водою та плавиковою кислотою.
3. Після заготовки та обробки зразків починається процес травлення з використанням металів. Процес травлення може проводитись по різному, з різною кількістю стадій, в залежності від типу металу. У кожного зразка буде різний час травлення, різна щільність металевого шару. Зразки матимуть різну структуру пористого шару в залежності від часу травлення. Металами, які використовуються для створення зразків, будуть Au, Ag, Cu.
4. Au (Золото) наноситься на поверхню зразка певними краплями з розчину цього металу. Після нанесення зразки висушуються.
5. Ag (Срібло) наноситься на поверхню зразка у 3 стадії. По-перше, це нанесення на зразок розчину кислоти та срібла протягом 5, 10 та 15 секунд. По-друге, це травлення у розчину HF протягом 30, 40 і 50 хвилин.

6. Cu (Мідь) наноситься на поверхню зразка схожим методом з нанесення срібла, але вже в одну стадію. Різний шар міді отримується за рахунок того, що очищення відбувається двома способами: швидко та 30 хвилин.
7. Висушування отриманих зразків.
8. Нанесення на отримані зразки шару водного розчину меланіну.
9. Закріплення шару меланіну при $t = 70^{\circ}\text{C}$ на 30 хвилин.
10. Вимірювання

2.2. ПРОВЕДЕННЯ ВИМІРЮВАНЬ

Задачею експериментальної частини є дослідити ВАХ в залежності від технології отримання та дослідити залежність струму від концентрації глюкози.

Досліджуваними зразками в даній роботі є:

- Au 40 хв. N6 (60-80 нм.)
- Au 50 хв. N6
- Au 60 хв. N6
- Au 40 хв. 40-50 нм.
- Au 60 хв. 40-50 нм.
- Ag 5-50 очищений
- Ag 10с.-30 хв. тр. очищений
- Ag 10-40 очищений
- Ag 10-50 очищений
- Ag 15-30 очищений
- Ag 15-40 очищений
- Ag 15-50 очищений
- Cu 30м. clear 30 хв
- Cu 30м. clear 50 хв

- Cu fast 30 хв
- Cu fast 50 хв

Загальний вигляд досліджуваного зразка зображено на малюнку нижче.

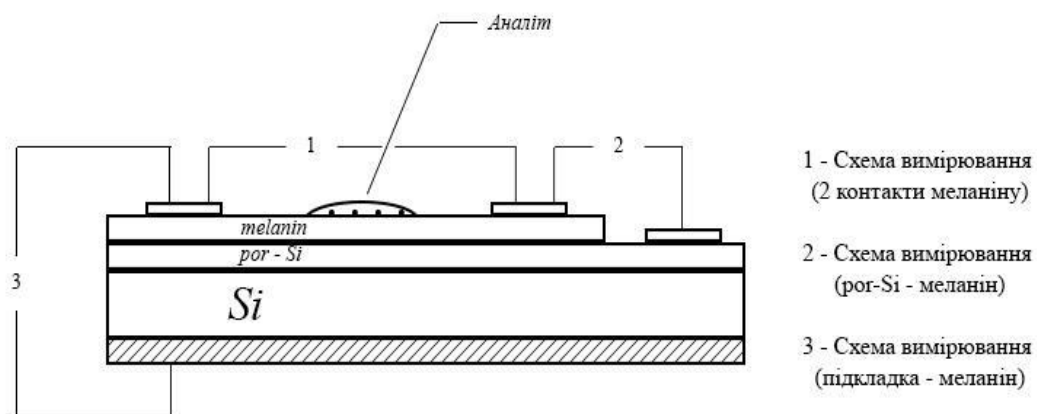


Рис.2.1. Схема досліджуваного зразка N

Схема вимірювання складається з джерела напруги постійного струму, амперметра для вимірювання струму, стенду для утримання зразків, та досліджуваного зразка, до якого підкинуті контактні клеми для вимірювання необхідних характеристик.

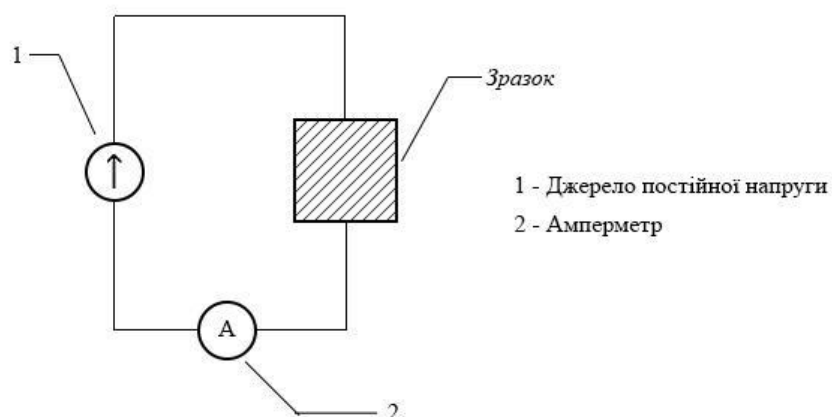


Рис.2.2. Схема вимірювання

Перший зразок: Au 50 N6

Таблиця 1.1 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	1,6	9,4	25,2	44,2	75,2	95,8	141	174	196	231

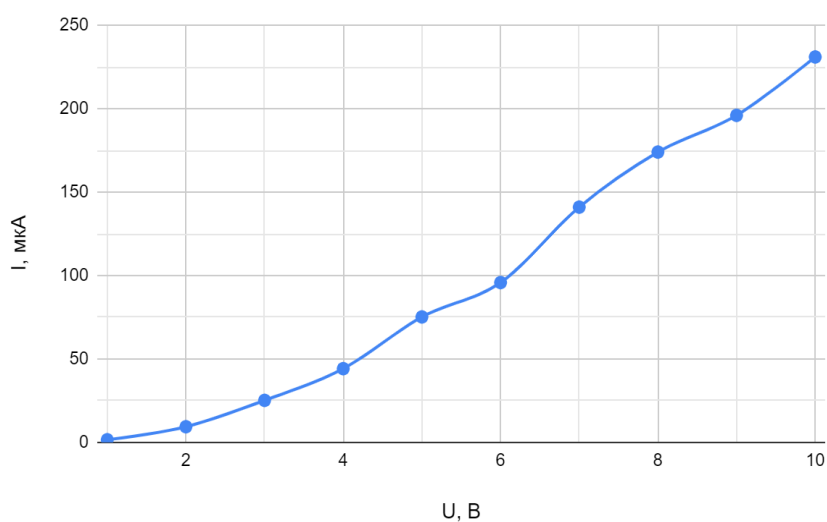


Рис.2.3. ВАХ зразка Au 50 N6 на контакті меланін-меланін

Опір на лінійній ділянці від 1 до 5 В розраховується за формулою:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{U_{n+3} - U_n}{I_{n+3} - I_n} \quad (2.1.)$$

$$R = \frac{5 \text{ В} - 1 \text{ В}}{75,2 \text{ мкА} - 1,6 \text{ мкА}} = 54,3 \text{ кОм}$$

Відстань між контактами меланін-меланін на зразку S = 1,29 см.

$$R = 42,1 \text{ кОм/см}$$

Таблиця 1.2.1 - Залежність I/U на контакті p-or-Si (+) - меланін (-)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	36,3	293	703	1220	1850	2420	2850	3340	3640	3850

Таблиця 1.2.2 - Залежність I/U на контакті p-or-Si (-) - меланін (+)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	-0,08	-12,3	-24,4	-53,8	-99,5	-122,3	-156,7	-178	-192	-201

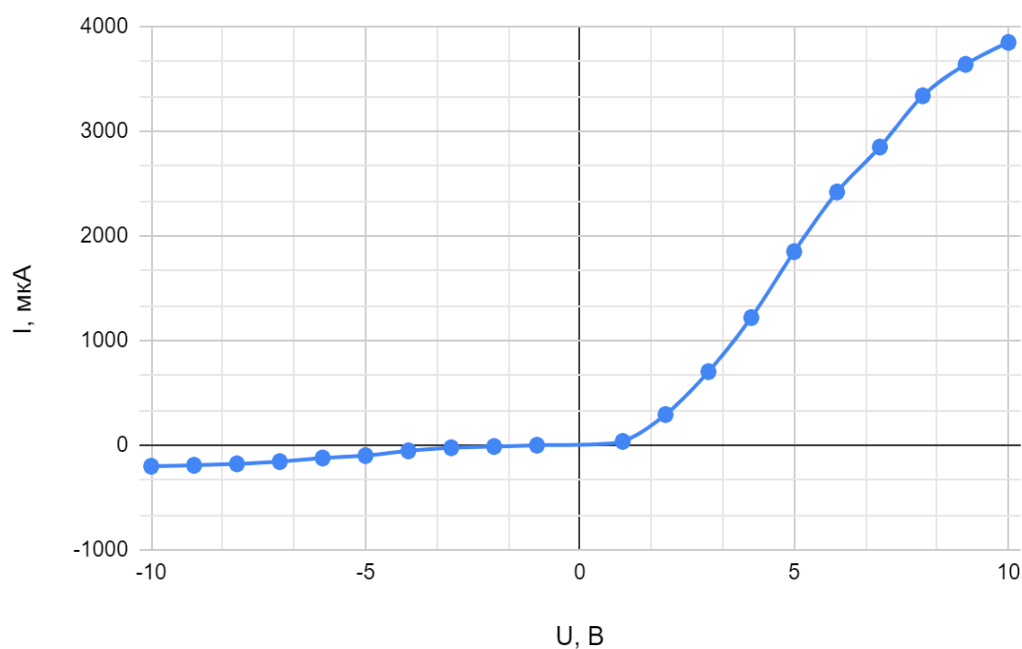


Рис.2.4. ВАХ зразка Au 50 N6 на контакті p-or-Si – меланін

Коефіцієнт випрямлення діода розраховується за формулою:

$$K = \frac{I(U_n)}{I(-U_n)} \quad (2.2)$$

$$K = \frac{I(U_n)}{I(-U_n)} = \frac{I(U_5)}{I(-U_5)} = \frac{1850 \text{ мкА}}{99,5 \text{ мкА}} = 18,6$$

Таблиця 1.3.1 - Залежність I/U на контактї підкладка (-) - меланін (+)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	1	11	40,1	92,3	161	218	254	296	320	352

Таблиця 1.3.2 - Залежність I/U на контактї підкладка (+) - меланін (-)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	-0,02	-0,06	-1,1	-1,7	-2,4	-3,4	-4,5	-5,5	-6,9	-8,2

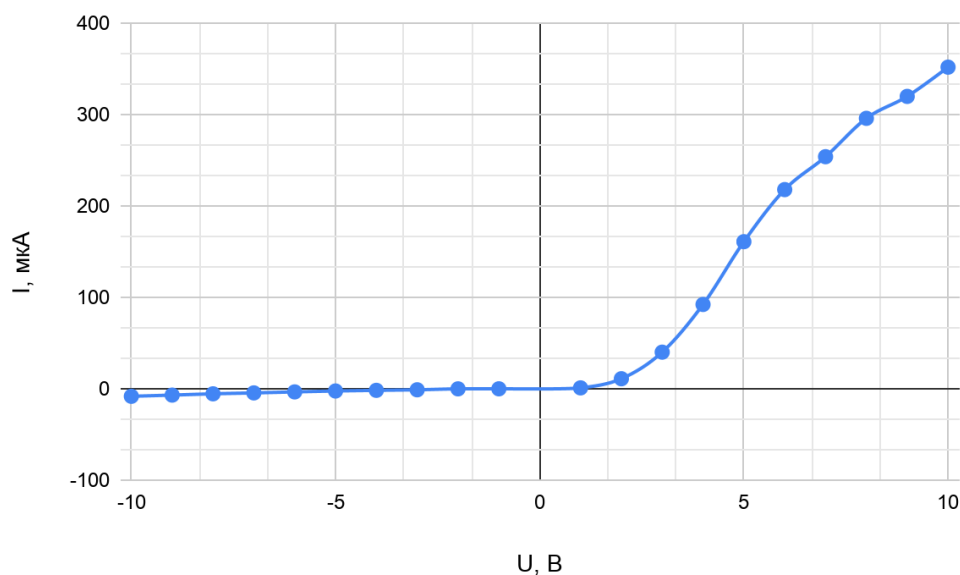


Рис.2.5. ВАХ зразка Au 50 N6 на контактї підкладка - меланін

Коефіцієнт випрямлення діода розраховується за формулою:

$$K = \frac{I(U_n)}{I(-U_n)} = \frac{I(U_5)}{I(-U_5)} = \frac{161 \text{ мкА}}{2,4 \text{ мкА}} = 67,1$$

Таблиця 1.4.1 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка води

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	3,6	73,2	263	441	536	664	753	932	1032	1290

Таблиця 1.4.2 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка розчину глюкози 1/30 (0,1мл глюкози / 3мл води)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	4	39,5	233,1	369	453	556	632	754	912	1021

Таблиця 1.4.3 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка розчину глюкози 1/20 (0,15мл глюкози / 3мл води)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	6,7	77,3	297	472	608	744	822	897	934	1014

Таблиця 1.4.4 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка розчину глюкози 1/10 (0,3мл глюкози / 3мл води)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	0,5	12,8	57,6	141,2	242	304	324	372	413	462

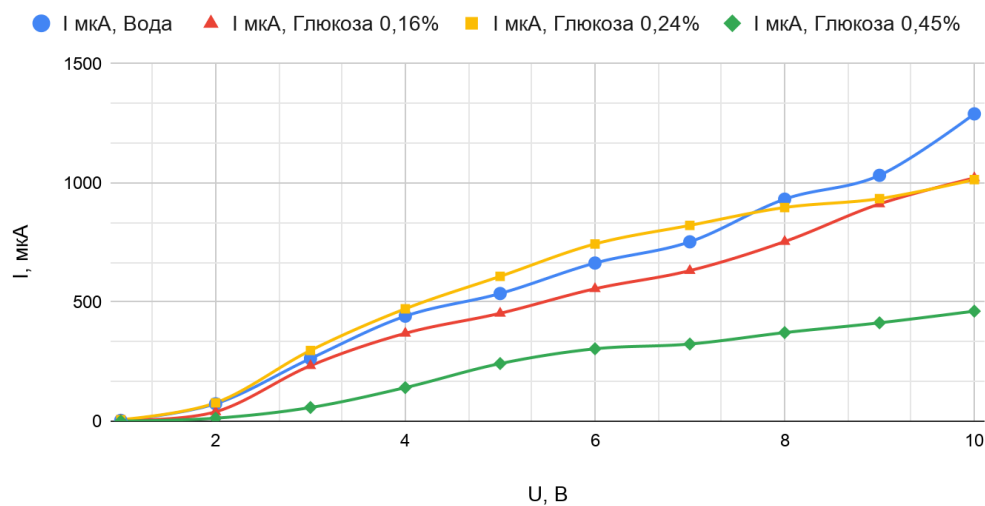


Рис.2.6. ВАХ зразка Au 50 N6 на контактї меланін - меланін з додаванням розчину води і глюкози

Надалі зразок неможливо дослідити, характеристики неясні.

Другий зразок: Au 40 N6

Таблиця 2.1 - Залежність I/U на контактї меланін-меланін

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	0,2	1,1	4	9,1	15,7	27,7	45,7	68,1	110,3	179,3

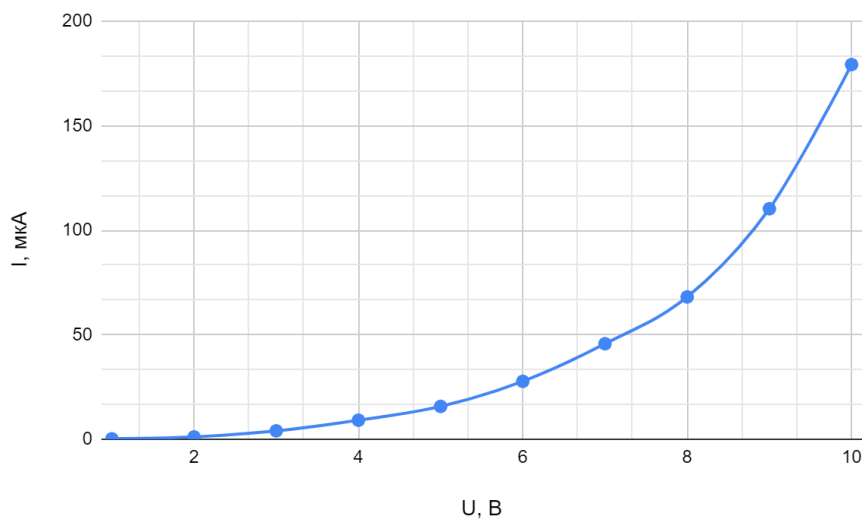


Рис.2.7. ВАХ зразка Au 40 N6 на контактї меланін-меланін

Опір на лінійній ділянці від 1 до 5В розраховується за формулою:

$$R = \frac{5\text{ В} - 1\text{ В}}{15,7\text{ мкА} - 0,2\text{ мкА}} = 258,1\text{ кОм}$$

Відстань між контактами меланін-меланін на зразку $S = 0,873\text{ см}$.

$$R = 295,6\text{ кОм/см}$$

Таблиця 2.2.1 - Залежність I/U на контакті p-or-Si (+) - меланін (-)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	3,2	14,8	43,7	84,3	138,3	263	406	661	942	1267

Таблиця 2.2.2 - Залежність I/U на контакті p-or-Si (-) - меланін (+)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	-0,5	-2,3	-9,2	-24,2	-38,7	-58,6	-84,3	-127,2	-153,7	-201

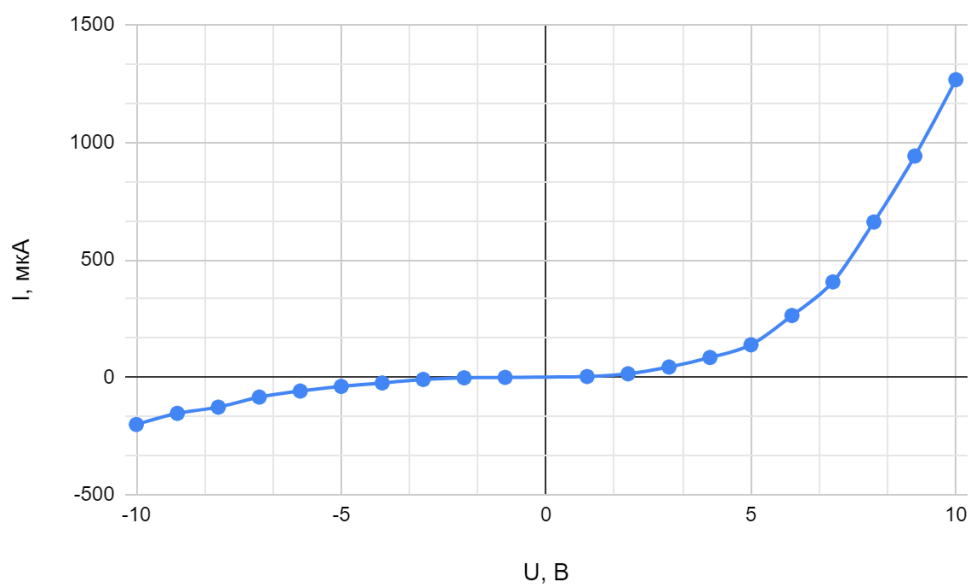


Рис.2.8. ВАХ зразка Au40N6 на контакті p-or-Si - меланін

Коефіцієнт випрямлення діода розраховується за формулою:

$$K = \frac{I(U_n)}{I(-U_n)} = \frac{I(U_5)}{I(-U_5)} = \frac{138,3\text{ мкА}}{38,7\text{ мкА}} = 3,57$$

Таблиця 2.3.1 - Залежність I/U на контакті підкладка (-) - меланін (+)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	-0,9	-5	-13,8	-32,3	-66,7	-103,7	-138,6	-177	-234	-297

Таблиця 2.3.2 - Залежність I/U на контакті підкладка (+) - меланін (-)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	7,3	24,2	67,4	133,6	232	363	484	629	771	971

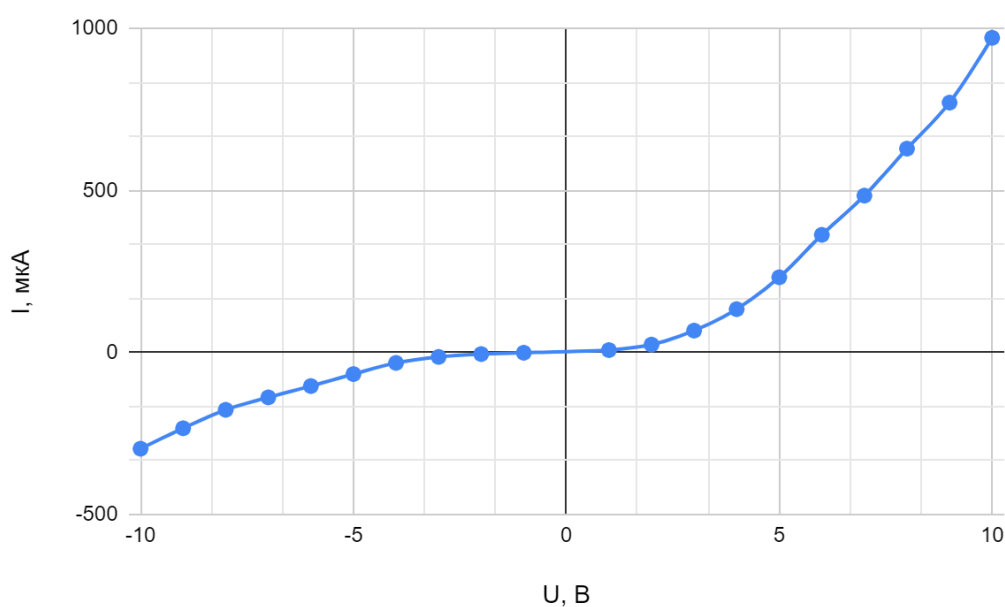


Рис.2.9. ВАХ зразка Au40N6 на контакті підкладка-меланін

Коефіцієнт випрямлення діода розраховується за формулою:

$$K = \frac{I(U_n)}{I(-U_n)} = \frac{I(U_5)}{I(-U_5)} = \frac{232 \text{ мкА}}{66,7 \text{ мкА}} = 3,47$$

Таблиця 2.4.1 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка води

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	3,6	11,9	16,5	20,6	31,9	45,3	58,3	95,1	107,2	142,4

Таблиця 2.4.2 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка розчину глюкози 1/30 (0,1мл глюкози / 3мл води)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	0,3	1,1	2,5	4,7	8,4	13,2	17,7	46,1	69,7	103,4

За технічними особливостями далі зразок вимірювання не витримав.

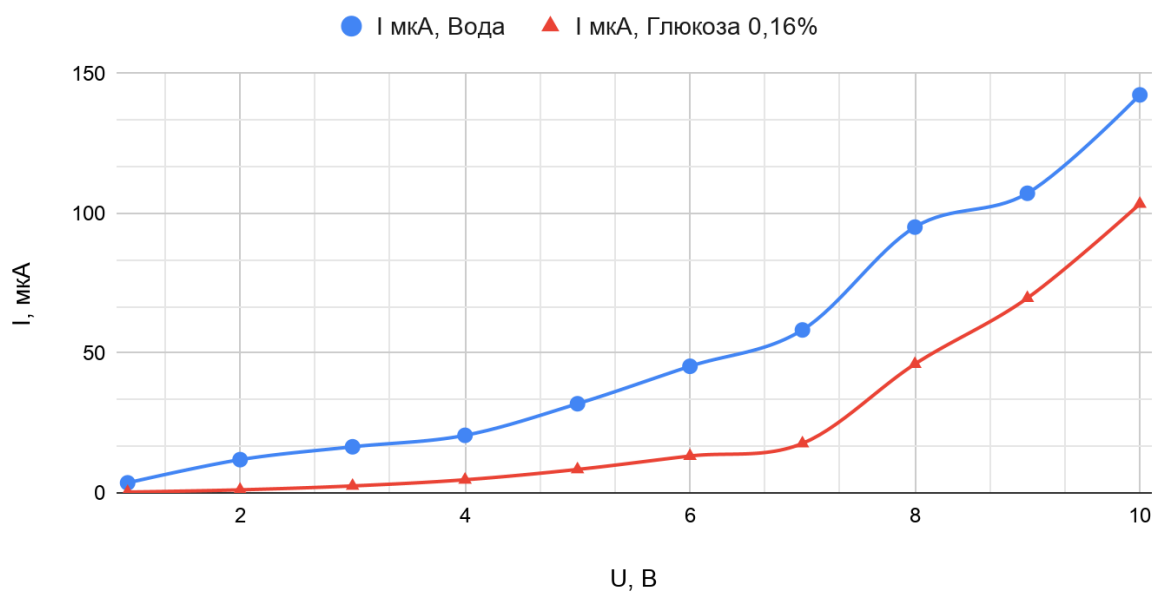


Рис.2.10. ВАХ зразка Au40N6 на контакті меланін - меланін з додаванням розчину води і глюкози

Зразок неможливо дослідити, характеристики неявні.

Третій зразок: Au 40 - 50 нм 40 хв

Таблиця 3.1 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	0,1	0,3	0,7	1,8	5,1	13,7	24,3	44,9	61,5	75,5

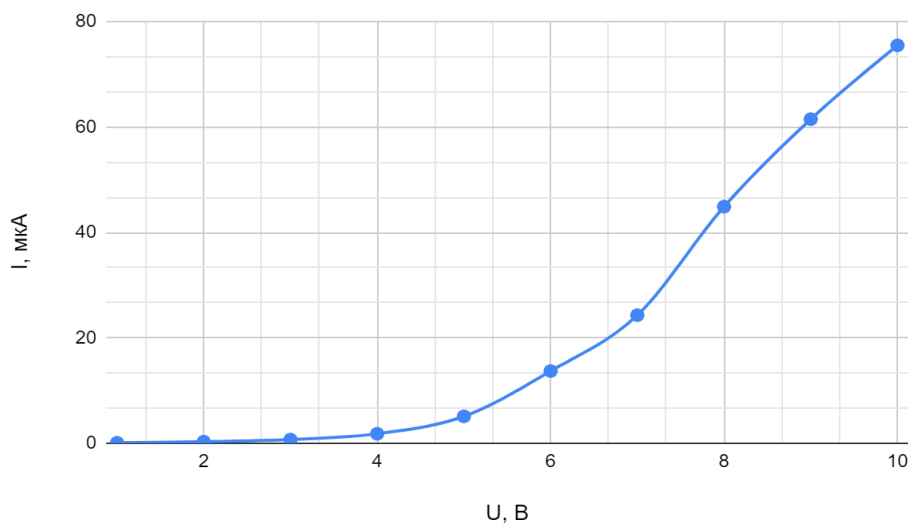


Рис.2.11. ВАХ зразка Au 40 - 50 нм 40 хв на контакті меланін-меланін

Опір на лінійній ділянці від 1 до 5В розраховується за формулою:

$$R = \frac{5 \text{ В} - 1 \text{ В}}{5,1 \text{ мкА} - 0,1 \text{ мкА}} = 800 \text{ кОм}$$

Відстань між контактами меланін-меланін на зразку $S = 1,05 \text{ см}$.

$$R = 761,9 \text{ кОм/см}$$

Таблиця 3.2.1 - Залежність I/U на контакті p-or-Si (+) - меланін (-)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	0,3	1,6	4,6	7,7	22,4	46,7	85,9	206	427	706

Таблиця 3.2.2 - Залежність I/U на контакті p-or-Si (-) - меланін (+)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	0	0	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-1,6	-6,3

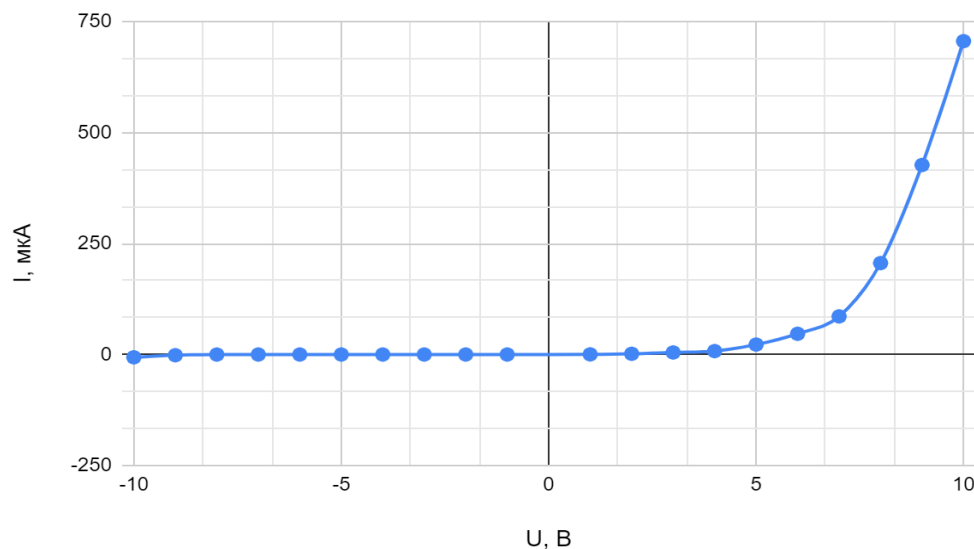


Рис.2.12. ВАХ зразка Au 40 - 50 нм 40 хв на контакті p-Si - меланін

Коефіцієнт випрямлення діода розраховується за формулою:

$$K = \frac{I(U_n)}{I(-U_n)} = \frac{I(U_5)}{I(-U_5)} = \frac{22,4 \text{ мкА}}{0,3 \text{ мкА}} = 74,6$$

Таблиця 3.3.1 - Залежність I/U на контакті підкладки (-) - меланін (+)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	2,6	11,6	38,1	58,3	87,1	99,7	141,3	217	236	367

Таблиця 3.3.2 - Залежність I/U на контакті підкладки (+) - меланін (-)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	-1,9	-6,2	-13,1	-21,6	-30,9	-41,4	-53,4	-65,4	-79	-92,9

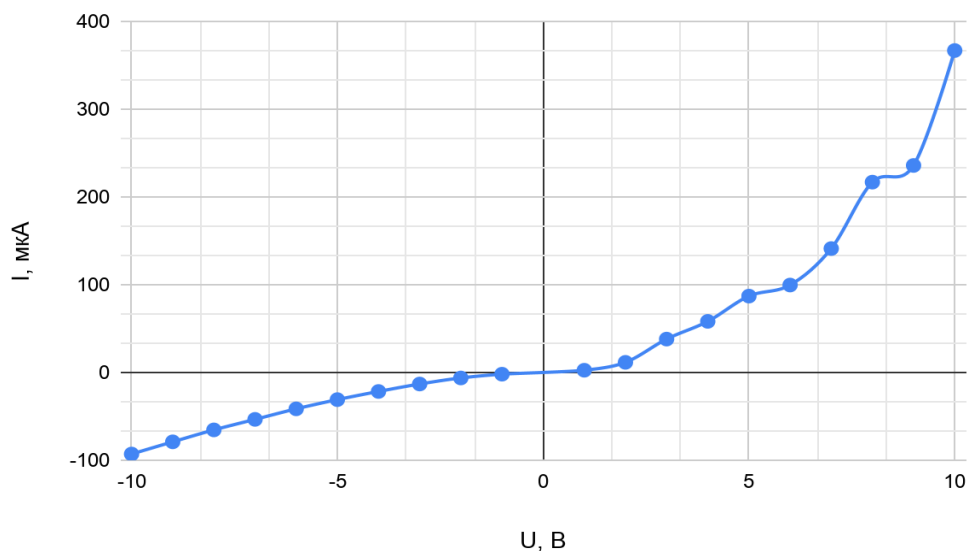


Рис.2.13. ВАХ зразка Au 40 - 50 нм 40 хв на контакті підкладка-меланін

Коефіцієнт випрямлення діода розраховується за формулою:

$$K = \frac{I(U_n)}{I(-U_n)} = \frac{I(U_5)}{I(-U_5)} = \frac{87,1 \text{ мкА}}{30,9 \text{ мкА}} = 2,81$$

Таблиця 3.4.1 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка води

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	0,2	1,5	9,3	37,1	84,3	148,5	211	267	297	367

Таблиця 3.4.2 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка розчину глюкози 1/30 (0,1мл глюкози / 3мл води)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	0,1	1,4	10,3	20,7	33,9	75,3	112,9	175,2	227	309

Таблиця 3.4.3 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка розчину глюкози 1/20 (0,15мл глюкози / 3мл води)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	0,6	5	23,1	61,4	122,4	166,3	236	267	354	421

Таблиця 3.4.4 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка розчину глюкози 1/10 (0,3мл глюкози / 3мл води)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	0,1	2,1	13,1	47,6	94,3	154,2	213	248	278	304

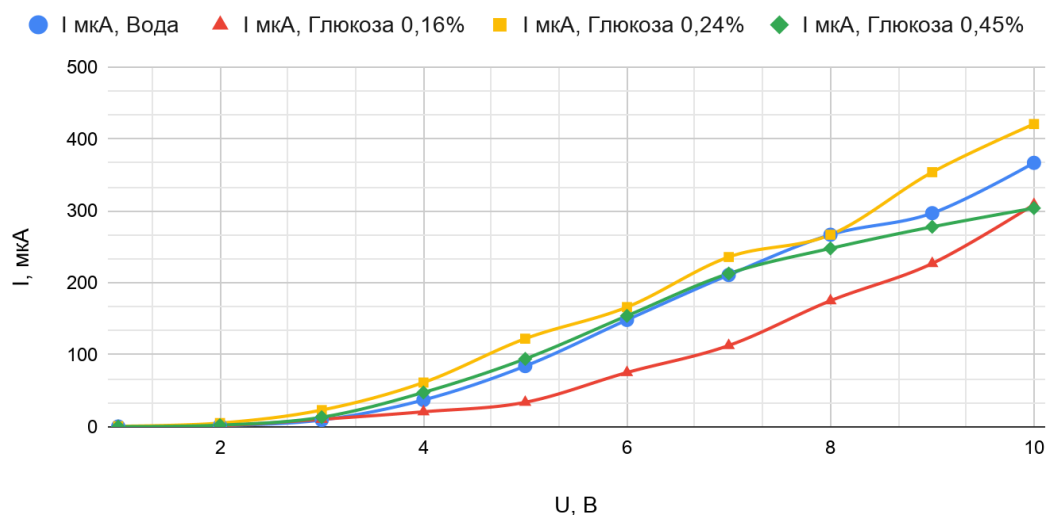


Рис.2.14. ВАХ зразка Au 40 - 50 нм 40 хв на контакті меланін - меланін з додаванням розчину води і глюкози

Надалі зразок неможливо дослідити, характеристики неявні.

Четвертий зразок: Au N6 60 хв

Таблиця 4.1 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	0,1	0,4	1,7	3,5	7,5	11,6	20,7	29,4	63,7	94,7

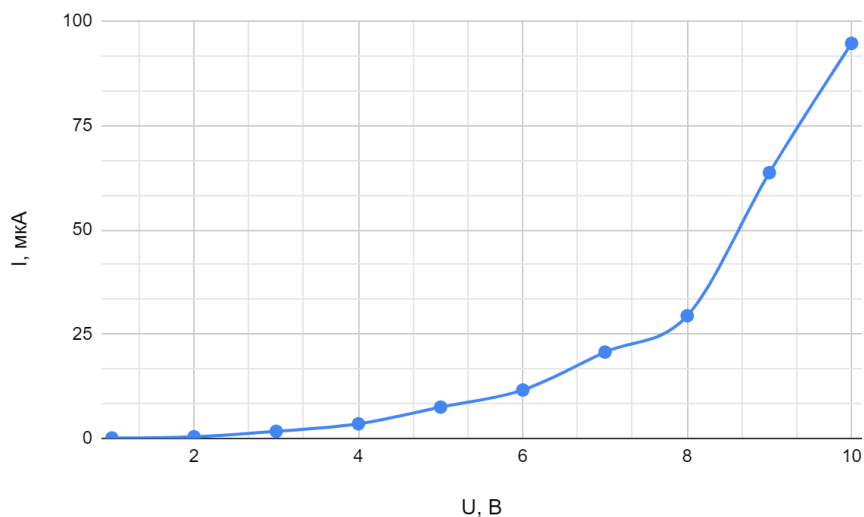


Рис.2.15. ВАХ зразка Au N6 60 хв на контактї меланін-меланін

Опір на лінійній ділянці розраховується за формулою:

$$R = \frac{5 \text{ В} - 1 \text{ В}}{7,5 \text{ мкА} - 0,1 \text{ мкА}} = 540,5 \text{ кОм}$$

Відстань між контактами меланін-меланін на зразку $S = 0,649 \text{ см}$.

$$R = 832,8 \text{ кОм/см}$$

Таблиця 4.2.1 - Залежність I/U на контактї por-Si (+) - меланін (-)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	0,3	0,9	1,9	5,3	12,5	32,8	87,6	211	424	791

Таблиця 4.2.2 - Залежність I/U на контактї por-Si (-) - меланін (+)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	-0,1	-0,5	-1,6	-4,5	-7,2	-11,7	-28,4	-51,6	-63,5	-79,4

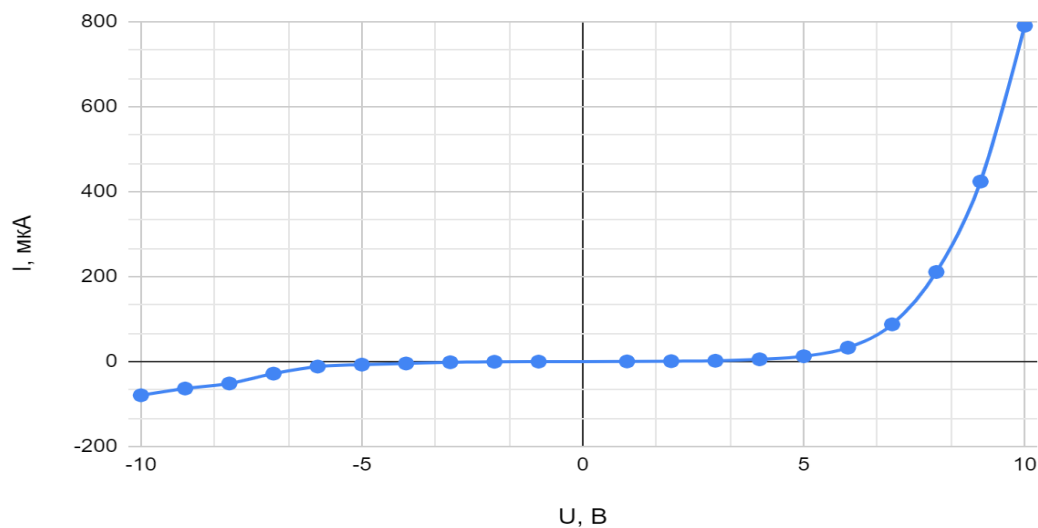


Рис.2.16. ВАХ зразка Au N6 60 хв на контакті рог-Si - меланін

Коефіцієнт випрямлення діода розраховується за формулою:

$$K = \frac{I(U_n)}{I(-U_n)} = \frac{I(U_5)}{I(-U_5)} = \frac{12,5 \text{ мкА}}{7,2 \text{ мкА}} = 1,73$$

Таблиця 4.3.1 - Залежність I/U на контакті підкладка (-) - меланін (+)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	0,4	2,3	6,8	14,7	23,5	32,8	44,5	53,7	61,2	85,6

Таблиця 4.3.2 - Залежність I/U на контакті підкладка (+) - меланін (-)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	-0,9	-3,6	-7,6	-12,6	-18,5	-23,8	-31,2	-35	-42,6	-51,7

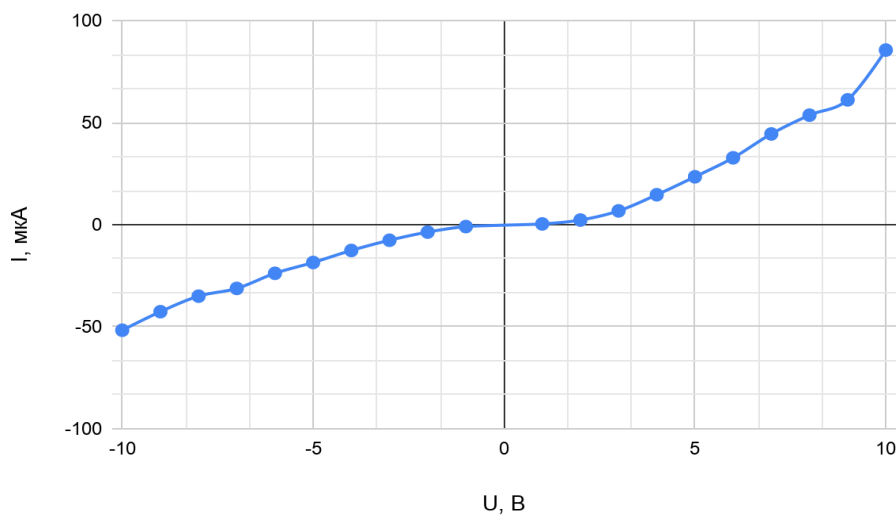


Рис.2.17. ВАХ зразка Au N6 60 хв на контакті підкладка-меланін

Коефіцієнт випрямлення діода розраховується за формулою:

$$K = \frac{I(U_n)}{I(-U_n)} = \frac{I(U_5)}{I(-U_5)} = \frac{23,5 \text{ мкА}}{18,5 \text{ мкА}} = 1,27$$

Таблиця 4.4.1 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка води

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	1	4,7	10,3	18,2	28,3	41,7	59,5	70,5	93,7	145

Таблиця 4.4.2 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка розчину глюкози 1/30 (0,1мл глюкози / 3мл води)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	0,3	1,5	3,5	6,6	32	53,2	128	133,7	182	226

Таблиця 4.4.3 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка розчину глюкози 1/20 (0,15мл глюкози / 3мл води)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	0,4	1,7	3,8	13,5	72,5	67,8	192	235	265	281

Таблиця 4.4.4 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка розчину глюкози 1/10 (0,3мл глюкози / 3мл води)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	0,5	4,2	14,2	30,4	48,6	68,5	90,7	115,6	142,1	204

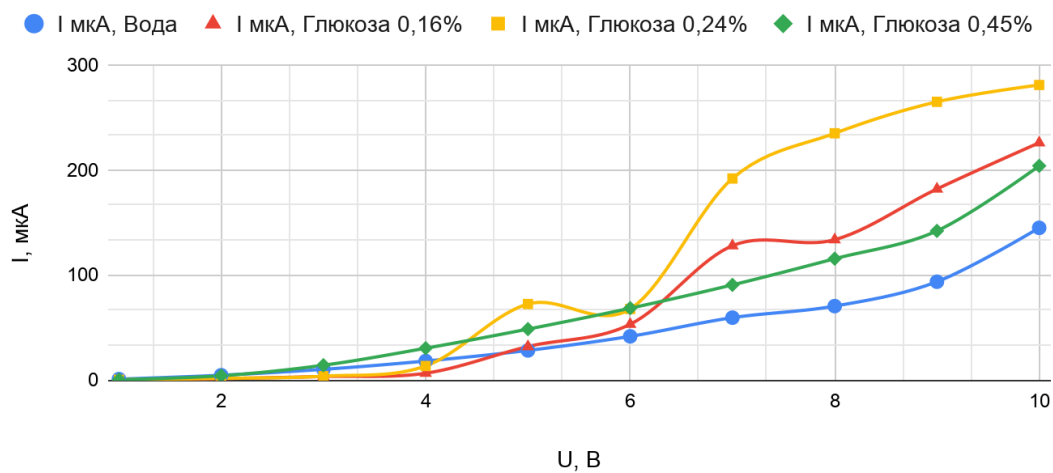


Рис.2.18. ВАХ зразка Au №6 60 хв на контакті меланін - меланін з додаванням розчину води і глюкози

Надалі зразок неможливо дослідити, характеристики неявні.

П'ятий зразок: Au 40-50 нм 60 хв

Таблиця 5.1 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	0,8	6,4	16,6	36,5	57,9	87,7	110,1	144,6	169,4	193

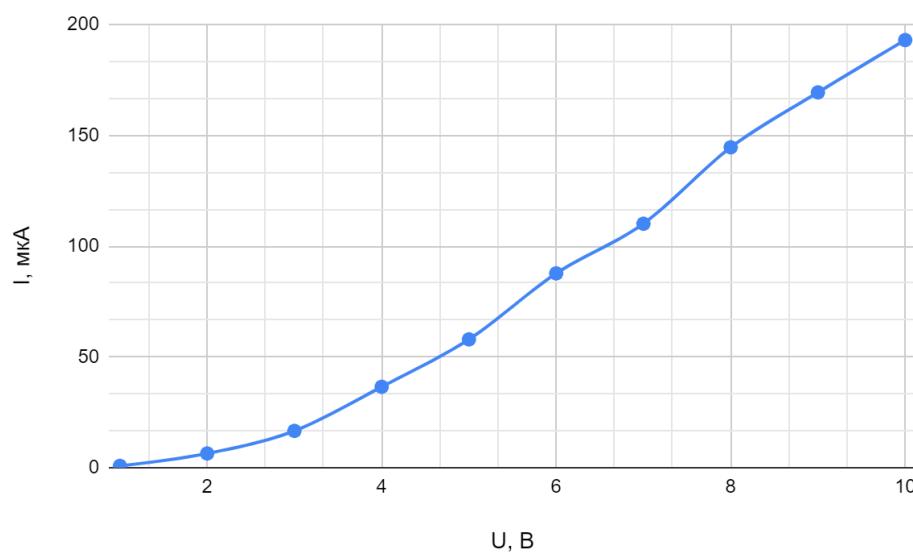


Рис.2.19. ВАХ зразка Au 40-50 нм 60 хв на контакті меланін-меланін

Опір на лінійній ділянці від 1 до 5 В розраховується за формулою:

$$R = \frac{5 \text{ В} - 1 \text{ В}}{57,9 \text{ мкА} - 0,8 \text{ мкА}} = 70,1 \text{ кОм}$$

Відстань між контактами меланін-меланін на зразку $S = 1,07 \text{ см}$.

$$R = 65,5 \text{ кОм/см}$$

Таблиця 5.2.1 - Залежність I/U на контакті por-Si (+) - меланін (-)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	1	2,7	5,1	16,3	42,3	98,6	198	354	670	1034

Таблиця 5.2.2 - Залежність I/U на контакті p-or-Si (-) - меланін (+)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	-1,9	-17,9	-71,7	-121,3	-164,5	-183	-226	-259	-292	-346

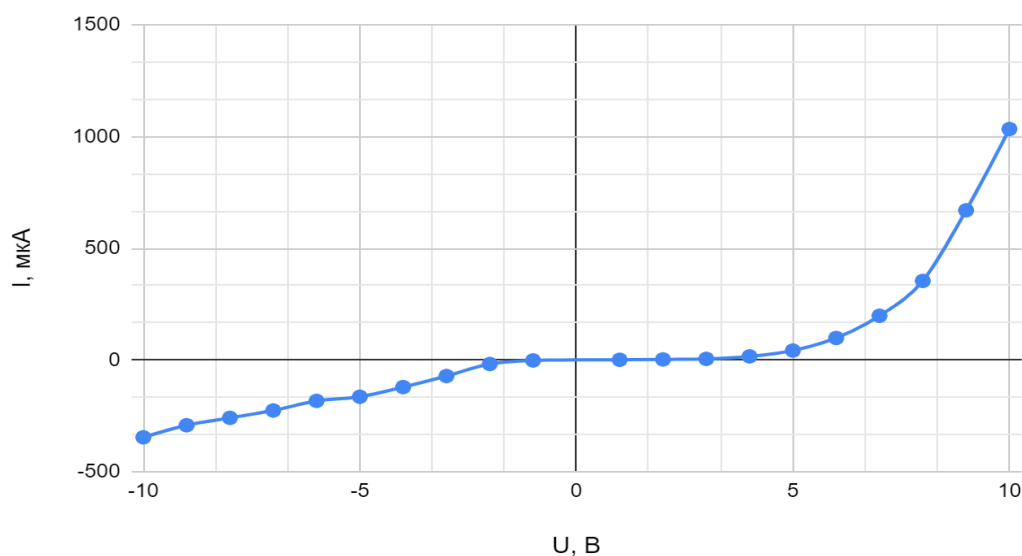


Рис.2.20. ВАХ зразка Au 40-50 нм 60 хв на контакті p-or-Si - меланін

Коефіцієнт випрямлення діода розраховується за формулою:

$$K = \frac{I(U_n)}{I(-U_n)} = \frac{I(U_5)}{I(-U_5)} = \frac{42,3 \text{ мкА}}{164,5 \text{ мкА}} = 0,25$$

Таблиця 5.3.1 - Залежність I/U на контакті підкладка (-) - меланін (+)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	3,7	31,2	95,5	163,8	235	281	327	387	397	446

Таблиця 5.3.2 - Залежність I/U на контакті підкладка (+) - меланін (-)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	-11,7	-33,9	-58,7	-84,2	-109,6	-133,2	-160,4	-191	-218	-245

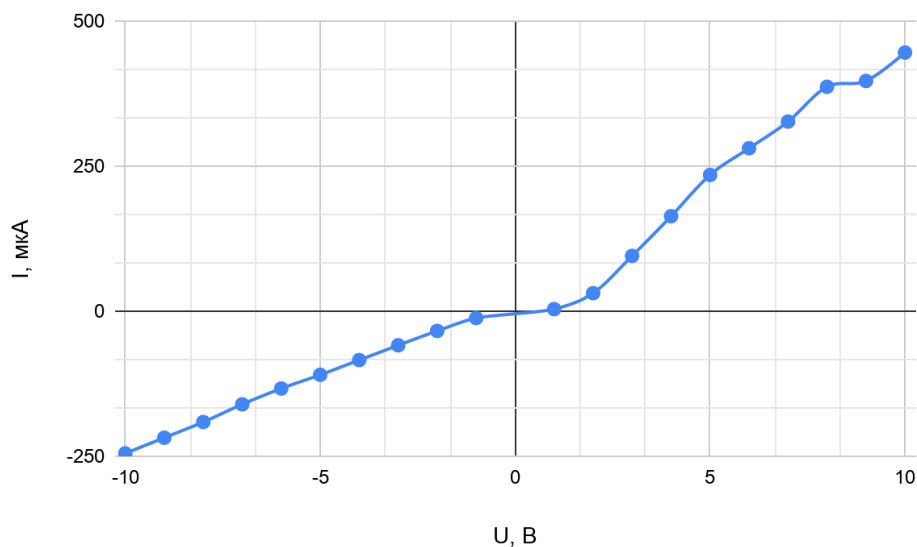


Рис.2.21. ВАХ зразка Au 40-50 нм 60 хв на контакті підкладка-меланін

Коефіцієнт випрямлення діода розраховується за формулою:

$$K = \frac{I(U_n)}{I(-U_n)} = \frac{I(U_5)}{I(-U_5)} = \frac{235 \text{ мкА}}{109,6 \text{ мкА}} = 2,14$$

Таблиця 5.4.1 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка води

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	1,5	40,6	132,4	227	260	285	305	317	329	350

Таблиця 5.4.2 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка розчину глюкози 1/30 (0,1мл глюкози / 3мл води)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	1,2	35,2	147,6	296	329	341	361	365	371	387

Таблиця 5.4.3 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка розчину глюкози 1/20 (0,15мл глюкози / 3мл води)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	1,1	29,5	153,8	332	385	403	423	417	426	430

Таблиця 5.4.4 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка розчину глюкози 1/10 (0,3мл глюкози / 3мл води)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	1,6	33,2	152,7	319	397	422	445	456	462	459

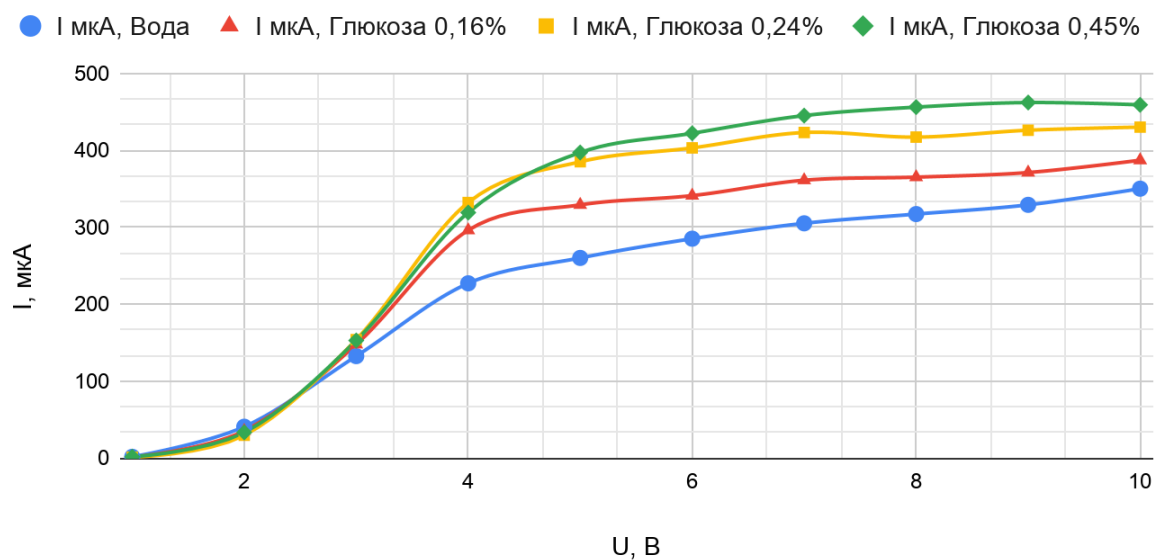


Рис.2.22. ВАХ зразка Au 40-50 нм 60 хв на контакті меланін - меланін з додаванням розчину води і глюкози

Розрахунок чутливості зразка до глюкози.

Точка найбільш явної залежності струму зразка від концентрації глюкози - $U = 6$ В.

Розрахунок концентрації глюкози у розчині. За вхідний розчин було взято 5% розчин глюкози.

$$C = \frac{5\% \cdot V_{mel}}{V_{H_2O} + V_{mel}} \quad (2.3)$$

$$C_{1/30} = \frac{5\% \cdot 0,1 \text{ мл}}{3 \text{ мл} + 0,1 \text{ мл}} = 0,16 \%$$

$$C_{1/20} = \frac{5\% \cdot 0,1 \text{ мл}}{2 \text{ мл} + 0,1 \text{ мл}} = 0,24 \%$$

$$C_{1/10} = \frac{5\% \cdot 0,1 \text{ мл}}{1 \text{ мл} + 0,1 \text{ мл}} = 0,45 \%$$

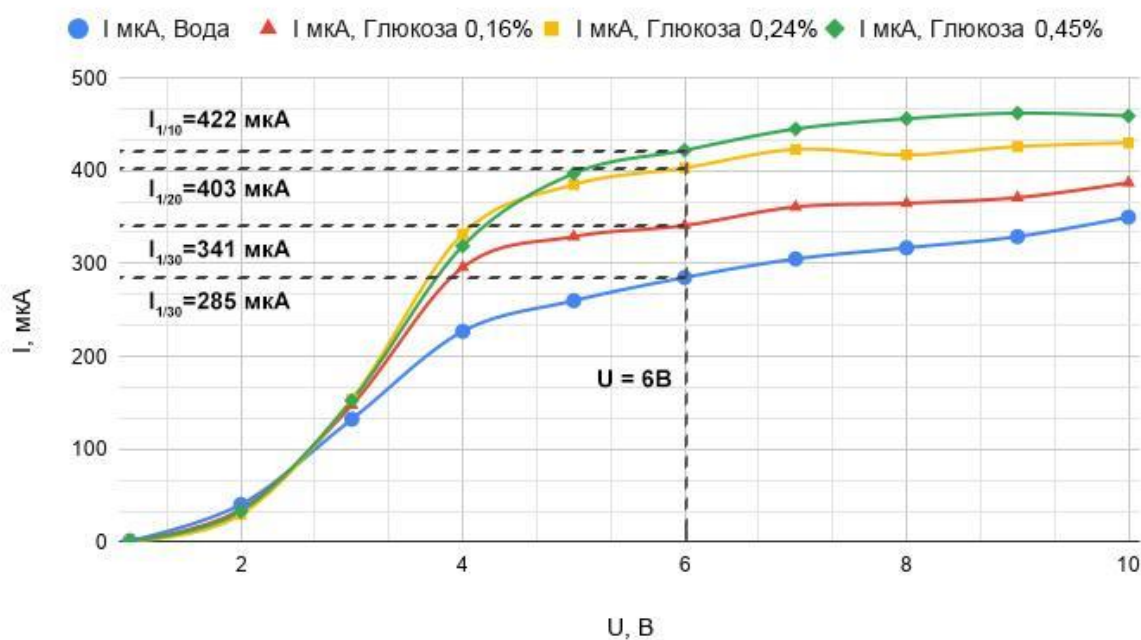


Рис.2.23. Значення струму на $U=6\text{В}$ при різних концентраціях глюкози

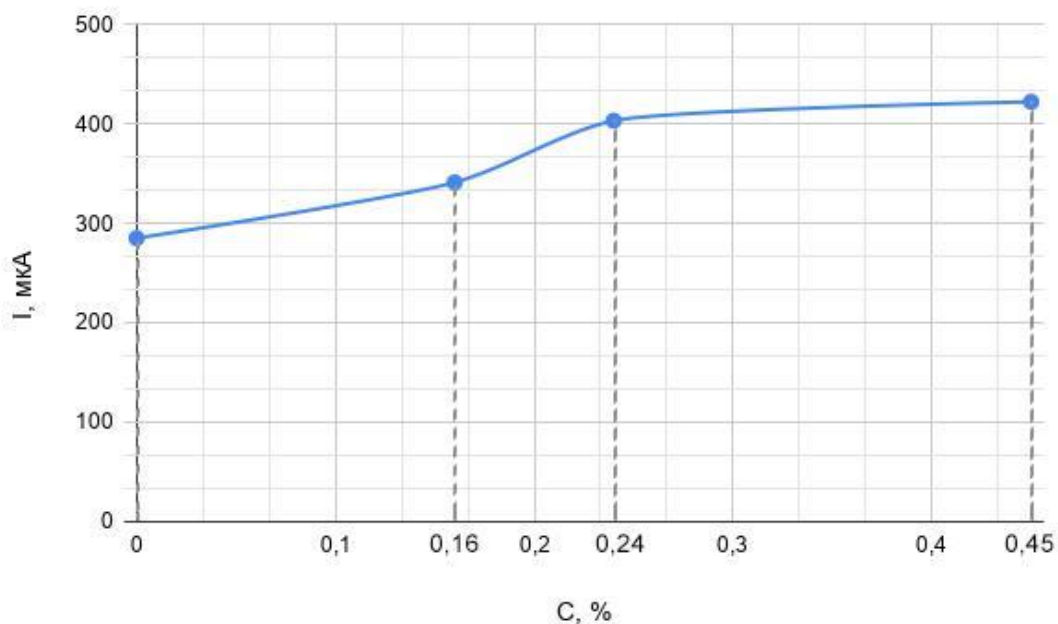


Рис.2.24. Залежність струму від концентрації аналіту

Чутливість розраховується для діапазону за формулою:

$$\alpha = \frac{I_2 - I_1}{C_2 - C_1} \quad (2.4)$$

$$\alpha = \frac{I_2 - I_1}{C_2 - C_1} = \frac{118}{0,24} = 491,6 \frac{\text{мкА}}{\%} = 0,49 \frac{\text{мА}}{\%}$$

Шостий зразок: Ag 10-50 очищений

Таблиця 6.1 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	0,6	18,3	87,3	97,2	114,6	121,4	149,7	151,1	172	176

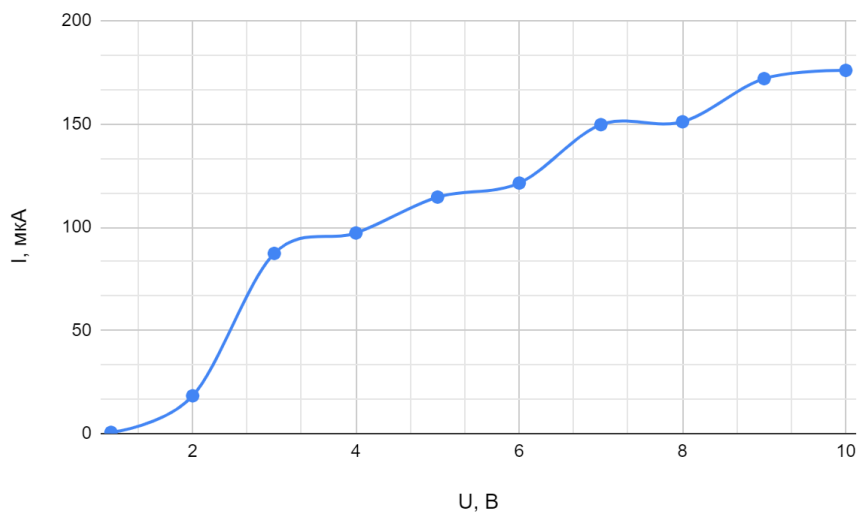


Рис.2.25. ВАХ зразка Ag 10-50 очищений на контакті меланін-меланін

Опір на лінійній ділянці розраховується за формулою:

$$R = \frac{5 \text{ В} - 1 \text{ В}}{114,6 \text{ мкА} - 0,6 \text{ мкА}} = 35,1 \text{ кОм}$$

Відстань між контактами меланін-меланін на зразку $S = 1,64 \text{ см}$.

$$R = 21,4 \text{ кОм/см}$$

Контакта por-Si на зразку немає, тому залежність por-Si - меланін відсутня.

Таблиця 6.3.1 - Залежність I/U на контакті підкладка (+) - меланін (-)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	20,5	78,6	223	316	365	423	480	533	583	637

Таблиця 6.3.2 - Залежність I/U на контакті підкладка (-) - меланін (+)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	-0,8	-2,3	-5,6	-7,7	-9	-10,3	-10,9	-10,9	-11,4	-10,5

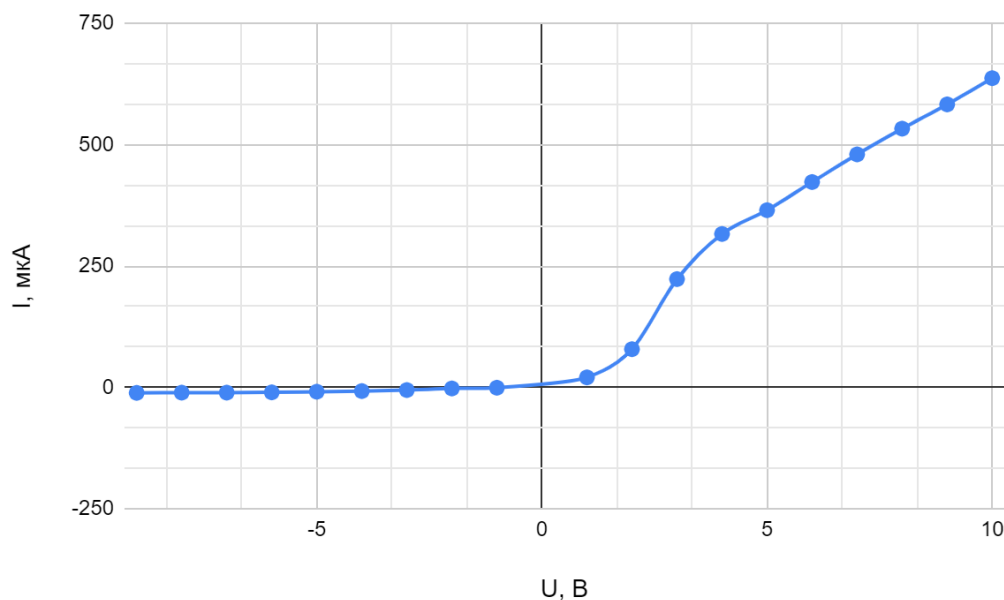


Рис.2.26. ВАХ зразка Ag 10-50 очищений на контакті підкладка-меланін

Коефіцієнт випрямлення діода розраховується за формулою:

$$K = \frac{I(U_n)}{I(-U_n)} = \frac{I(U_5)}{I(-U_5)} = \frac{365 \text{ мкА}}{9 \text{ мкА}} = 40,5$$

Таблиця 6.4.1 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка води

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	15,6	84,6	341	582	624	670	731	745	784	835

Таблиця 6.4.2 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка розчину глюкози 1/30 (0,1мл глюкози / 3мл води)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	15,4	95,7	411	789	831	947	997	1087	1132	1147

Таблиця 6.4.3 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка розчину глюкози 1/20 (0,15мл глюкози / 3мл води)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	18,3	105,7	420	691	867	1022	1114	1182	1226	1267

Таблиця 6.4.4 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка розчину глюкози 1/10 (0,3мл глюкози / 3мл води)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	10,5	93,4	312	518	727	916	1072	1174	1254	1291

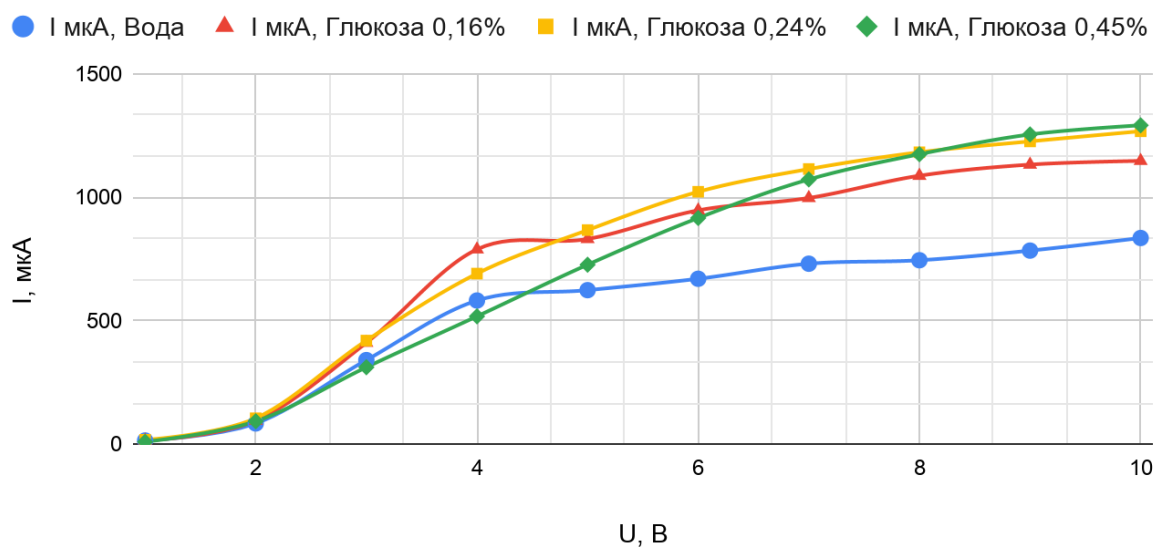


Рис.2.27. ВАХ зразка Ag 10-50 очищений на контакті меланін-меланін з додаванням води і розчину глюкози

Надалі зразок дослідити неможливо, характеристики неявні.

Сьомий зразок: Ag 15-40 очищений

Таблиця 7.1 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	3,5	31,6	119,3	220	262	313	359	409	470	467

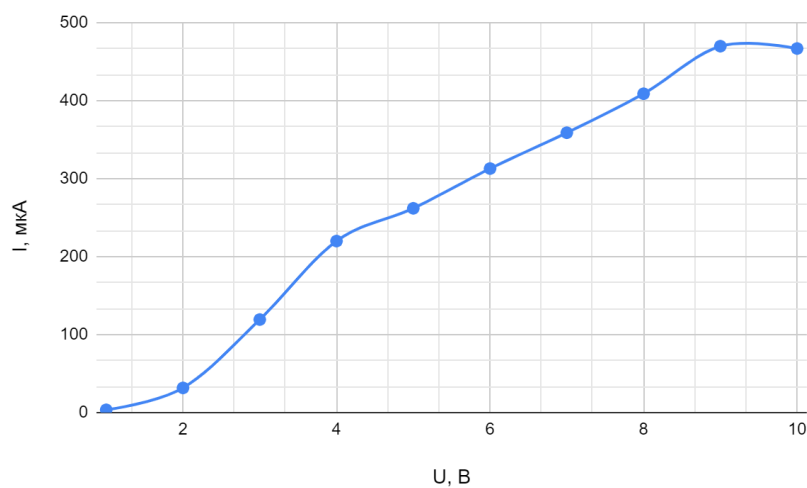


Рис.2.28. ВАХ зразка Ag 15-40 очищений на контакті меланін-меланін

Опір на лінійній ділянці від 1 до 5 В розраховується за формулою:

$$R = \frac{5 \text{ В} - 1 \text{ В}}{262 \text{ мкА} - 3,5 \text{ мкА}} = 15,47 \text{ кОм}$$

Відстань між контактами меланін-меланін на зразку $S = 0,99 \text{ см}$.

$$R = 15,62 \text{ кОм/см}$$

Контакта p-р-Si на зразку немає, тому залежність p-р-Si - меланін відсутня.

Таблиця 7.3.1 - Залежність I/U на контакті підкладка (+) - меланін (-)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	3,6	52,2	252	462	561	651	710	755	806	795

Таблиця 7.3.2 - Залежність I/U на контакті підкладка (-) - меланін (+)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	-0,1	-0,2	-0,3	-0,5	-0,7	-1	-1,4	-2	-4,6	-3,9

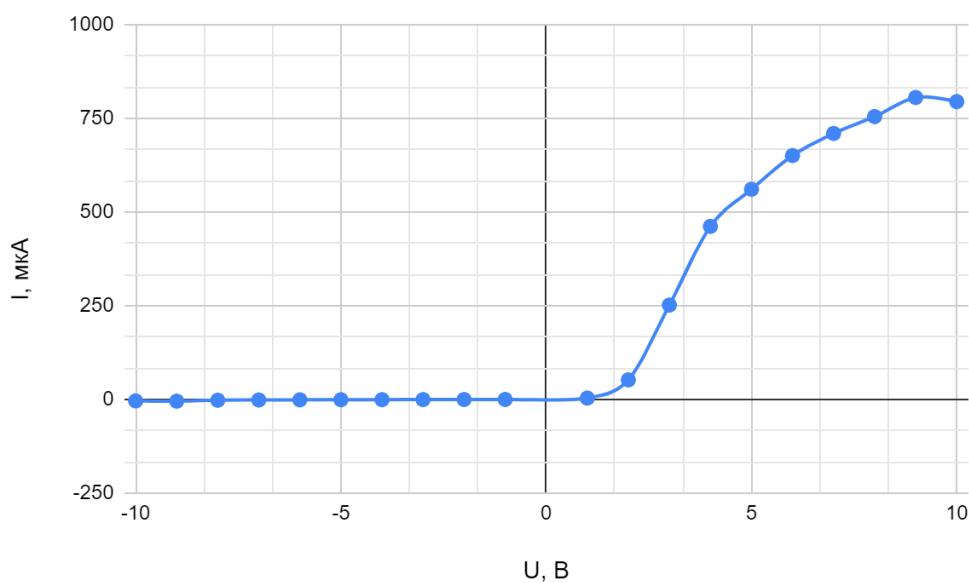


Рис.2.29. ВАХ зразка Ag 15-40 очищений на контакті підкладка-меланін

Коефіцієнт випрямлення діода розраховується за формулою:

$$K = \frac{I(U_n)}{I(-U_n)} = \frac{I(U_5)}{I(-U_5)} = \frac{561 \text{ мкА}}{0,7 \text{ мкА}} = 801,4$$

Таблиця 7.4.1 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка води

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	2,3	52,3	304	649	825	867	942	995	1021	1064

Таблиця 7.4.2 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка розчину глюкози 1/30 (0,1мл глюкози / 3мл води)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	2,4	23,7	235	602	897	1076	1247	1262	1289	1314

Таблиця 7.4.3 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка розчину глюкози 1/20 (0,15мл глюкози / 3мл води)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	2	57,6	411	862	1221	1354	1409	1434	1477	1499

Таблиця 7.4.4 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка розчину глюкози 1/10 (0,3мл глюкози / 3мл води)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	2,2	50,9	363	832	1225	1428	1501	1543	1577	1610

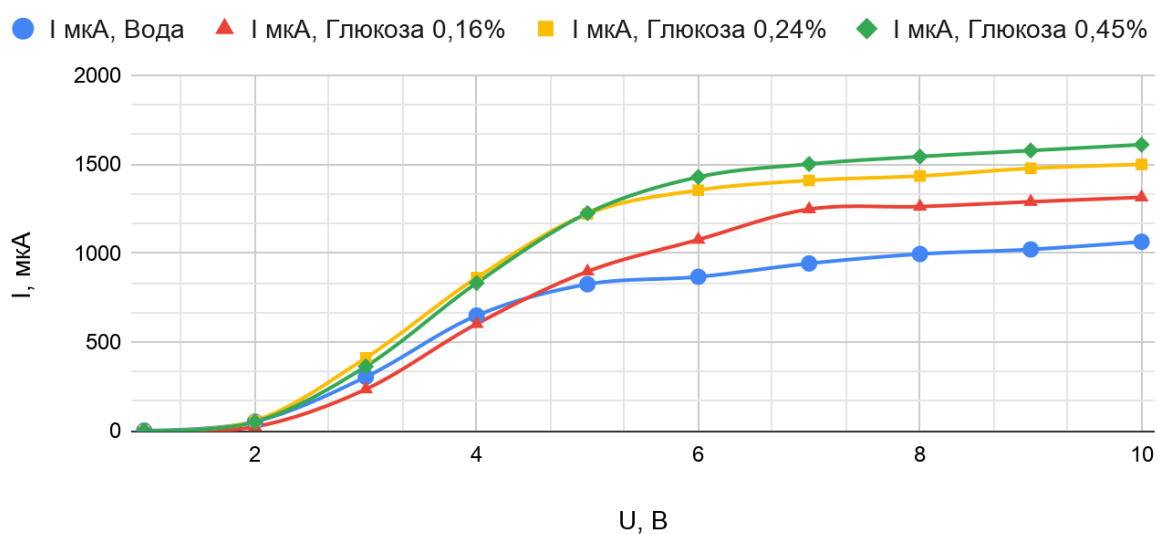


Рис.2.30. ВАХ зразка Ag 15-40 очищений на контакті меланін - меланін з додаванням води і розчину глюкози

Розрахунок чутливості зразка до глюкози.

Точка найбільш явної залежності струму зразка від концентрації глюкози - $U = 8 \text{ В}$.

Розрахунок концентрації глюкози у розчині. За вхідний розчин було взято 5% розчин глюкози.

$$C_{1/30} = \frac{5\% \cdot 0,1 \text{ мл}}{3 \text{ мл} + 0,1 \text{ мл}} = 0,16 \%$$

$$C_{1/20} = \frac{5\% \cdot 0,1 \text{ мл}}{2 \text{ мл} + 0,1 \text{ мл}} = 0,24 \%$$

$$C_{1/10} = \frac{5\% \cdot 0,1 \text{ мл}}{1 \text{ мл} + 0,1 \text{ мл}} = 0,45 \%$$

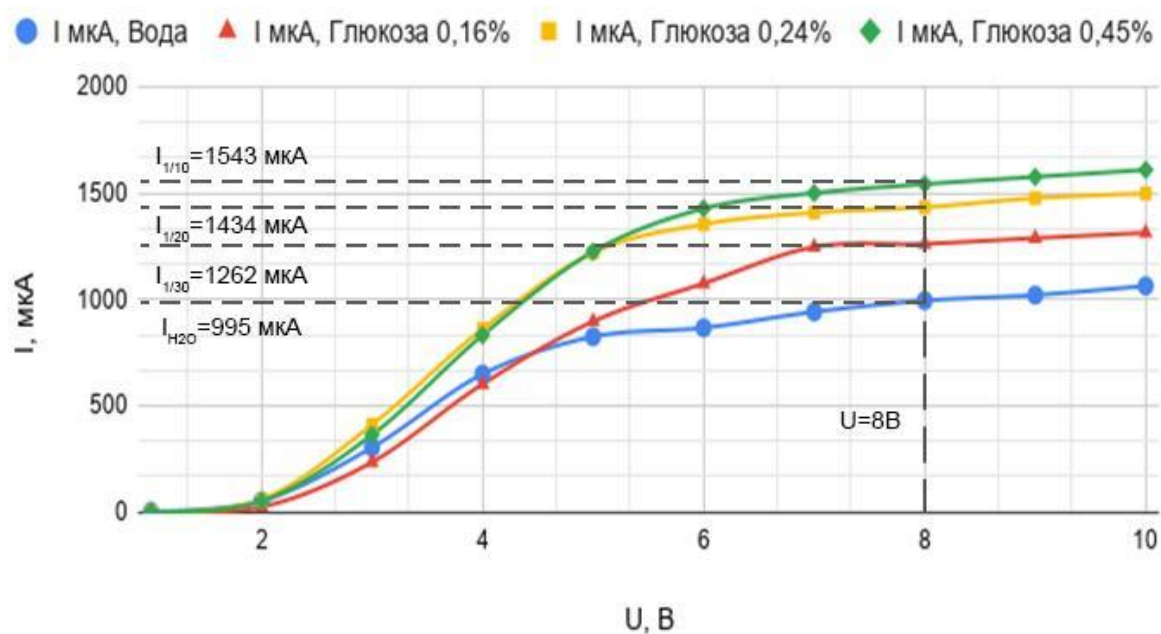


Рис.2.31. Значення струму на $U = 8 \text{ В}$ при різних концентраціях глюкози

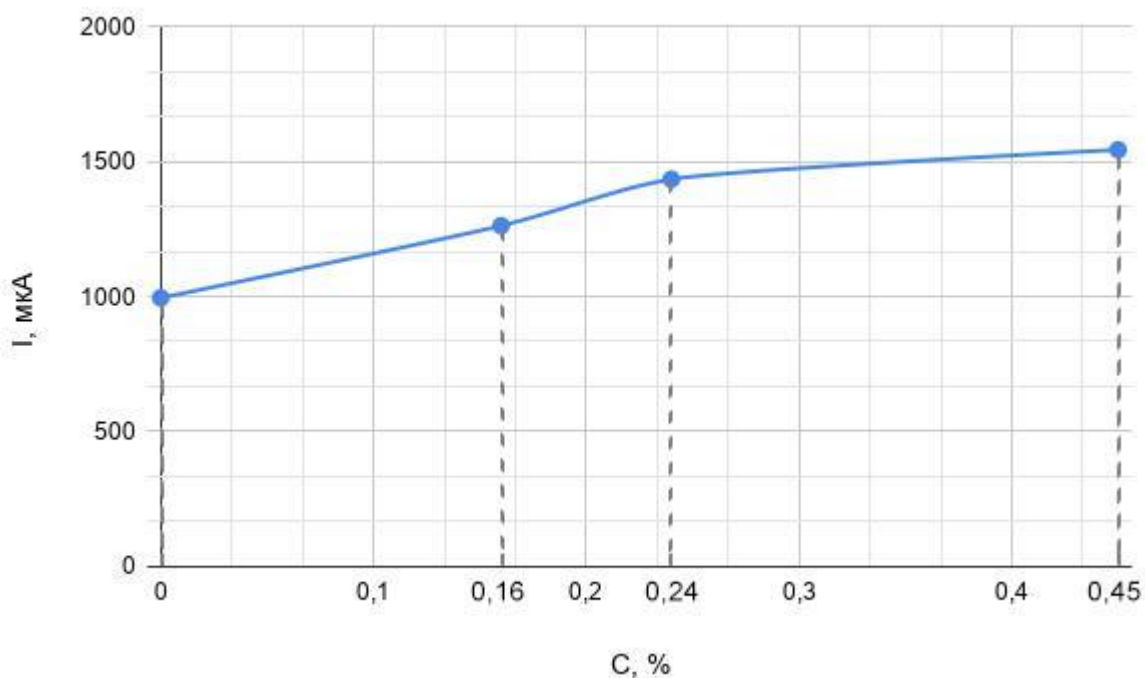


Рис.2.32. Залежність струму від концентрації аналіту

Чутливість розраховується для діапазону за формулою:

$$\alpha = \frac{I_2 - I_1}{C_2 - C_1} = \frac{439}{0,24} = 1829,1 \frac{\mu\text{A}}{\%} = 1,83 \frac{\text{mA}}{\%}$$

Восьмий зразок: Ag 5-50 очищений

Таблиця 8.1 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	40,2	247	488	680	755	816	877	912	935	994

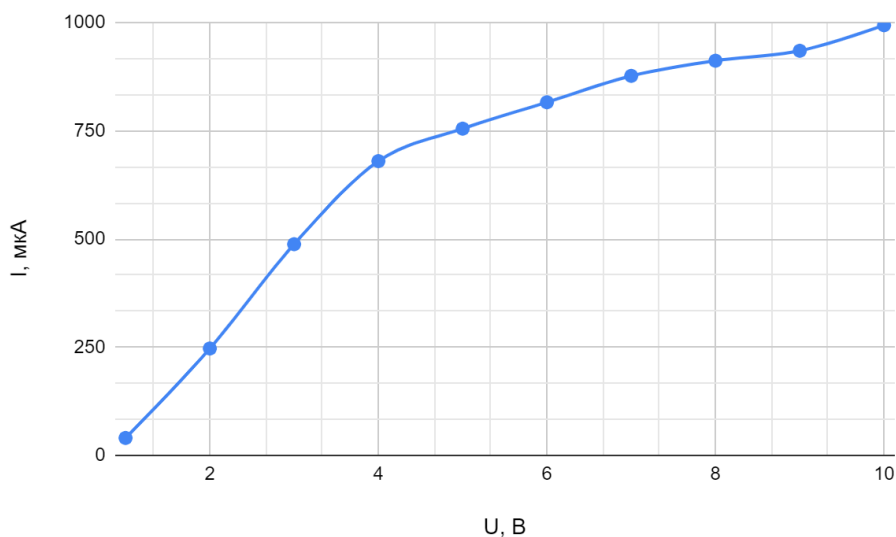


Рис.2.33. ВАХ зразка Ag 5-50 очищений на контакті меланін-меланін

Опір на лінійній ділянці від 1 до 5 В розраховується за формулою:

$$R = \frac{5 \text{ В} - 1 \text{ В}}{755 \text{ мкА} - 40,2 \text{ мкА}} = 5,6 \text{ кОм}$$

Відстань між контактами меланін-меланін на зразку $S = 1,56 \text{ см}$.

$$R = 3,58 \text{ кОм/см}$$

Контакта por-Si на зразку немає, тому залежність por-Si - меланін відсутня.

Таблиця 8.3.1 - Залежність I/U на контакті підкладка (+) - меланін (-)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	8,9	67,2	288	573	851	1073	1187	1259	1335	1381

Таблиця 8.3.2 - Залежність I/U на контакті підкладка (-) - меланін (+)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	-18,5	-67,3	-148	-297	-506	-662	-861	-1022	-1162	-1342

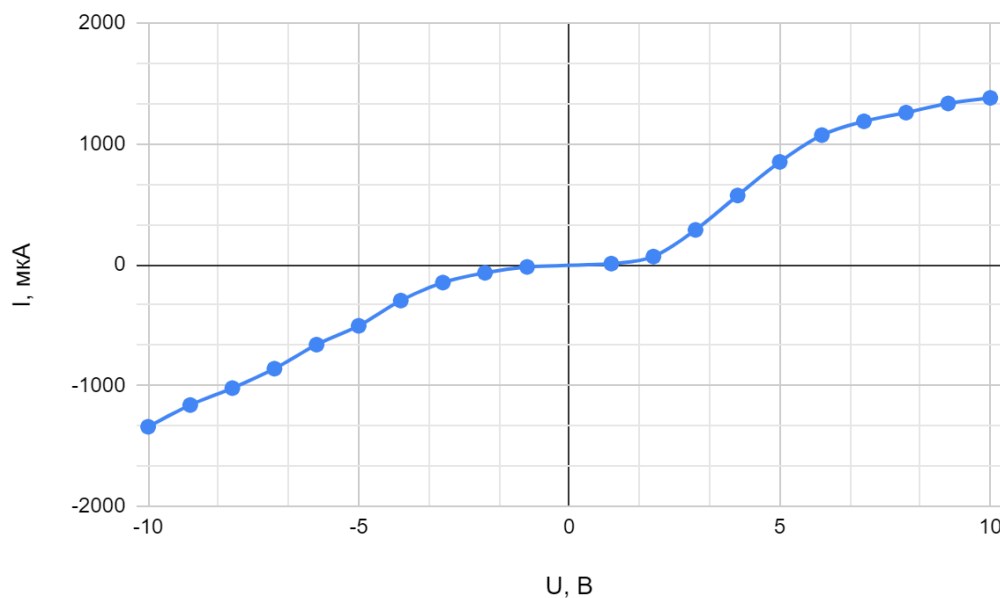


Рис.2.34. ВАХ зразка Ag 5-50 очищений на контакті підкладка-меланін

Коефіцієнт випрямлення діода розраховується за формулою:

$$K = \frac{I(U_n)}{I(-U_n)} = \frac{I(U_5)}{I(-U_5)} = \frac{851 \text{ мкА}}{506 \text{ мкА}} = 1,68$$

Таблиця 8.4.1 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка води

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	48,5	157,2	493	932	1182	1362	1517	1615	1605	1610

Таблиця 8.4.2 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка розчину глюкози 1/30 (0,1мл глюкози / 3мл води)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	58,3	169,7	396	623	844	1047	1243	1389	1525	1641

Таблиця 8.4.3 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка розчину глюкози 1/20 (0,15мл глюкози / 3мл води)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	56,9	152,3	403	619	841	1056	1257	1423	1583	1716

Таблиця 8.4.4 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка розчину глюкози 1/10 (0,3мл глюкози / 3мл води)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	57,3	162,7	392	615	836	1064	1271	1449	1603	1760

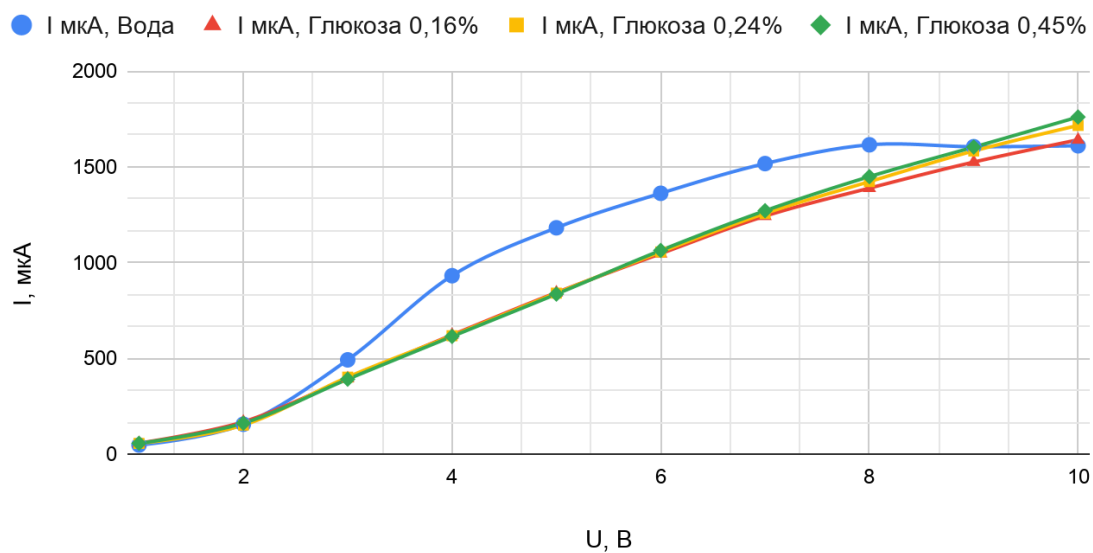


Рис.2.35. ВАХ зразка Ag 5-50 очищений на контакті меланін - меланін з додаванням води і розчину глюкози

Розрахунок чутливості зразка до глюкози.

Точка найбільш явної залежності струму зразка від концентрації глюкози - $U = 8 \text{ В}$.

Розрахунок концентрації глюкози у розчині. За вхідний розчин було взято 5% розчин глюкози.

$$C_{1/30} = \frac{5\% \cdot 0,1 \text{ мл}}{3 \text{ мл} + 0,1 \text{ мл}} = 0,16 \%$$

$$C_{1/20} = \frac{5\% \cdot 0,1 \text{ мл}}{2 \text{ мл} + 0,1 \text{ мл}} = 0,24 \%$$

$$C_{1/10} = \frac{5\% \cdot 0,1 \text{ мл}}{1 \text{ мл} + 0,1 \text{ мл}} = 0,45 \%$$

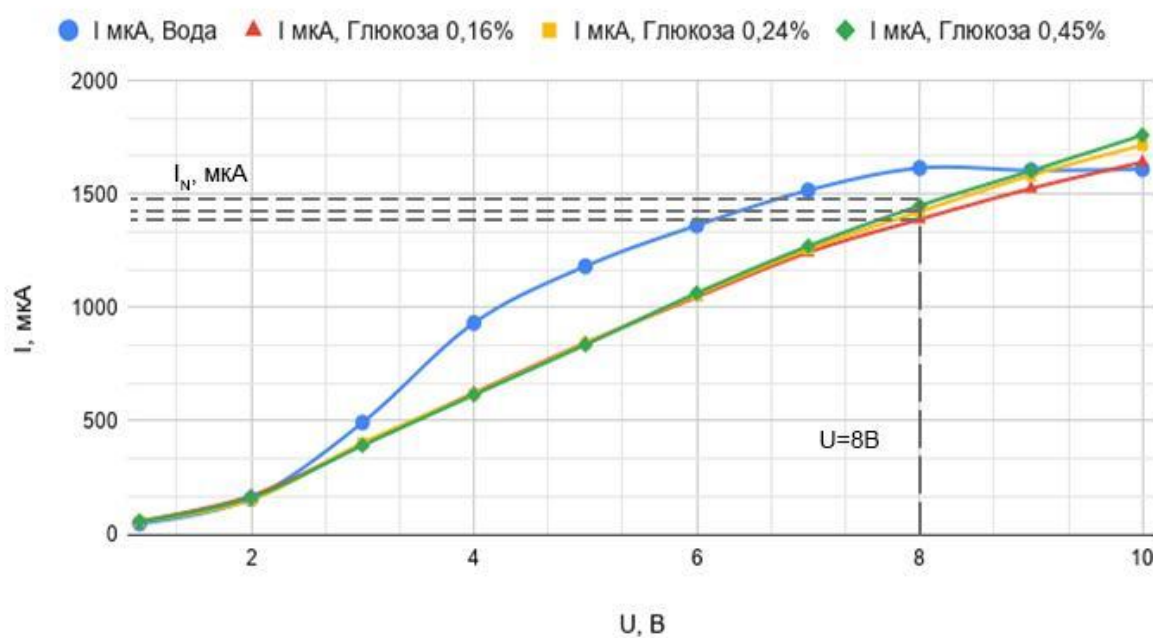


Рис.2.36. Значення струму на $U=8\text{В}$ при різних концентраціях глюкози

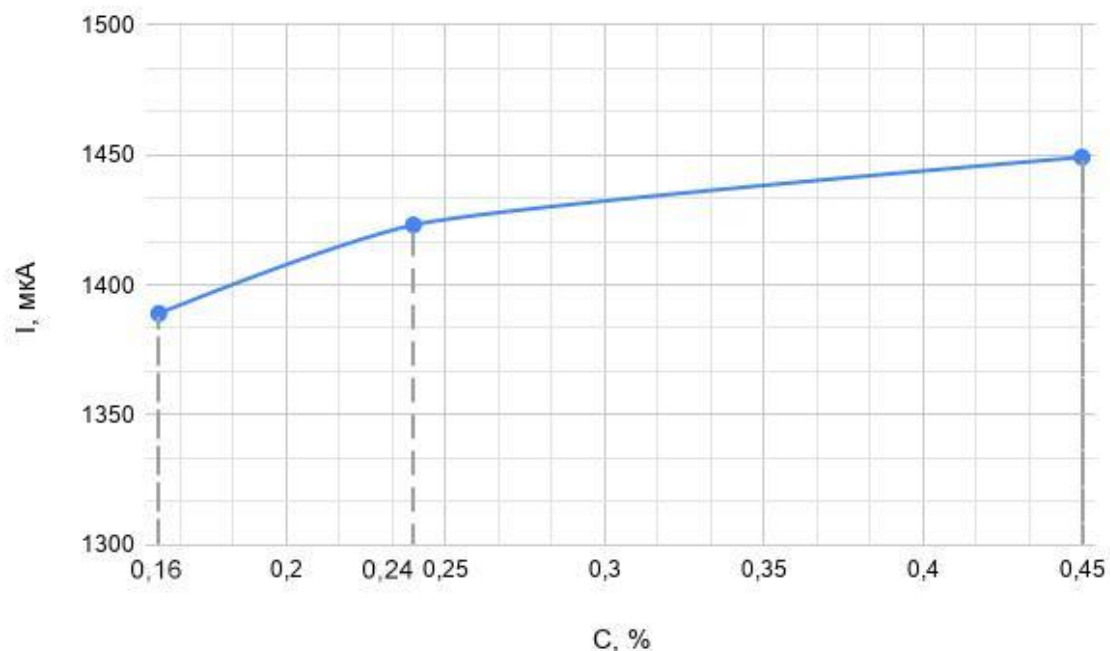


Рис.2.37. Залежність струму від концентрації аналіту

Чутливість розраховується для діапазону за формулою:

$$\alpha = \frac{I_2 - I_1}{C_2 - C_1} = \frac{60}{0,29} = 206,8 \frac{\text{мкА}}{\%} = 0,21 \frac{\text{мА}}{\%}$$

Дев'ятий зразок: Ag 10-40 очищений

Таблиця 9.1 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	8,2	42,1	114,5	245	326	401	457	495	535	567

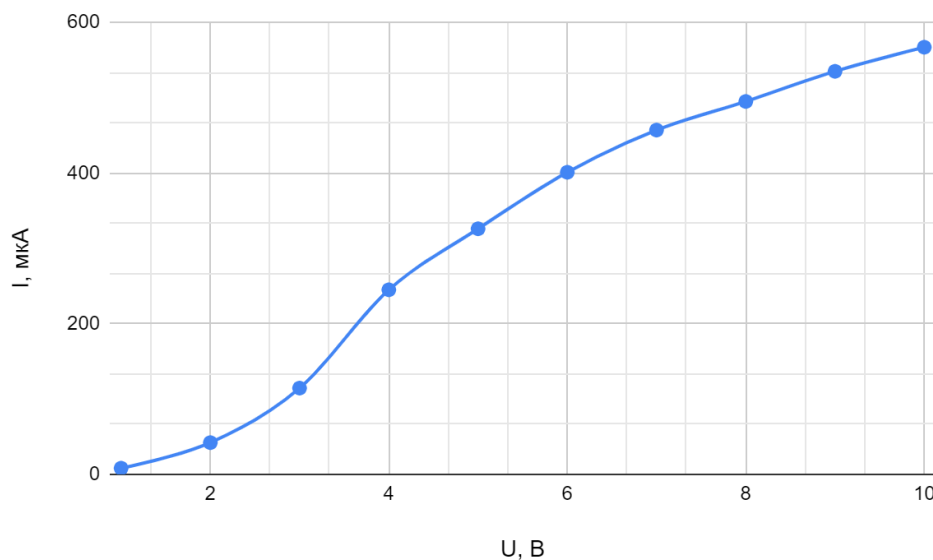


Рис.2.38. ВАХ зразка Ag 10-40 очищений на контакті меланін-меланін

Опір на лінійній ділянці від 1 до 5 В розраховується за формулою:

$$R = \frac{5 \text{ В} - 1 \text{ В}}{326 \text{ мкА} - 8,2 \text{ мкА}} = 12,6 \text{ кОм}$$

Відстань між контактами меланін-меланін на зразку $S = 1,39 \text{ см}$.

$$R = 9,06 \text{ кОм/см}$$

Контакта роg-Si на зразку немає, тому залежність роg-Si - меланін відсутня.

Таблиця 9.3.1 - Залежність I/U на контакті підкладка (+) - меланін (-)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	7	25,8	55,8	104,9	164,4	241	312	389	474	580

Таблиця 9.3.2 - Залежність I/U на контакті підкладка (-) - меланін (+)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	-1,3	-5,6	-9,6	-15,2	-23,8	-37,3	-50,5	-66,1	-87,7	-109,2

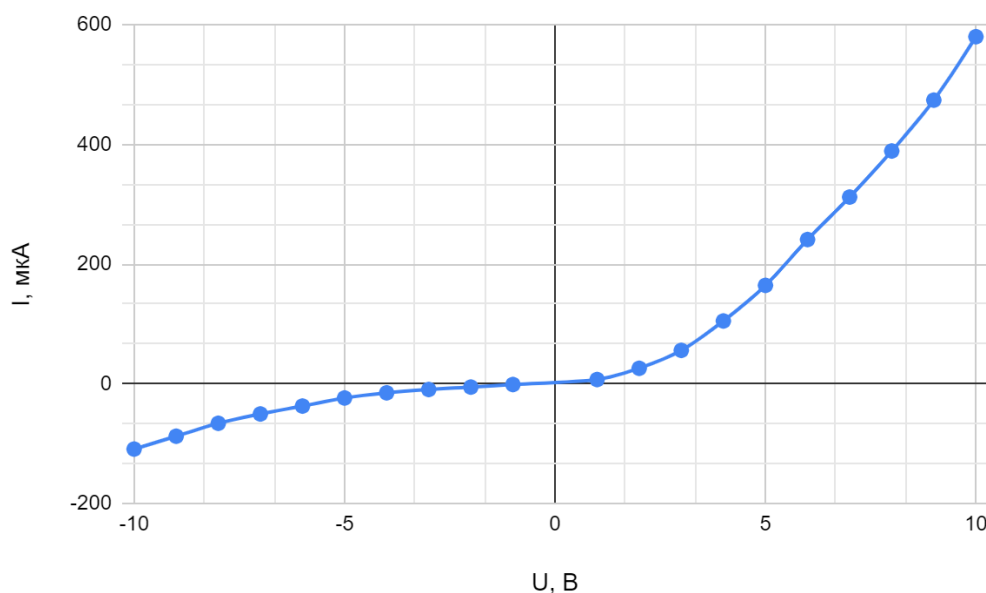


Рис.2.39. ВАХ зразка Ag 10-40 очищений на контакті підкладка-меланін

Коефіцієнт випрямлення діода розраховується за формулою:

$$K = \frac{I(U_n)}{I(-U_n)} = \frac{I(U_5)}{I(-U_5)} = \frac{164,4 \text{ мкА}}{23,8 \text{ мкА}} = 6,9$$

Таблиця 9.4.1 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка води

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	3,4	26,2	224	547	740	892	988	1036	1095	1152

Таблиця 9.4.2 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка розчину глюкози 1/30 (0,1мл глюкози / 3мл води)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	4,3	33,4	232	460	671	855	992	1089	1183	1274

Таблиця 9.4.3 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка розчину глюкози 1/20 (0,15мл глюкози / 3мл води)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	4,8	37,1	243	504	735	964	1133	1286	1406	1470

Таблиця 9.4.4 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка розчину глюкози 1/10 (0,3мл глюкози / 3мл води)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	4,7	58,7	247	432	667	892	1061	1193	1346	1426

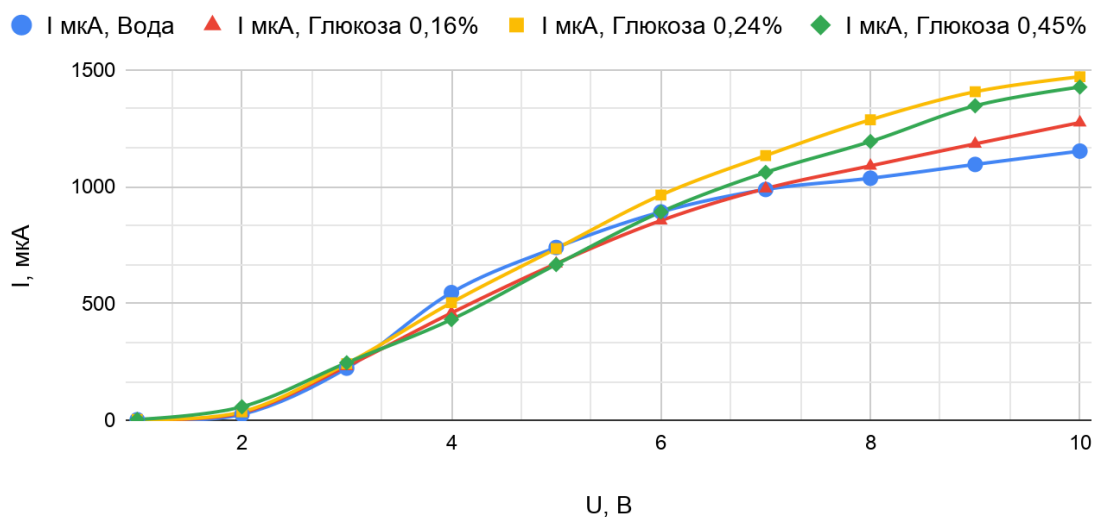


Рис.2.40. ВАХ зразка Ag 10-40 очищений на контакті меланін - меланін з додаванням води і розчину глюкози

Надалі зразок дослідити неможливо, характеристики неявні.

Десятий зразок: Ag 15-50 очищений

Таблиця 10.1 - Залежність I/U на контактї меланін-меланін

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	3,7	41,4	92,5	168,3	205	234	238	243	243	250

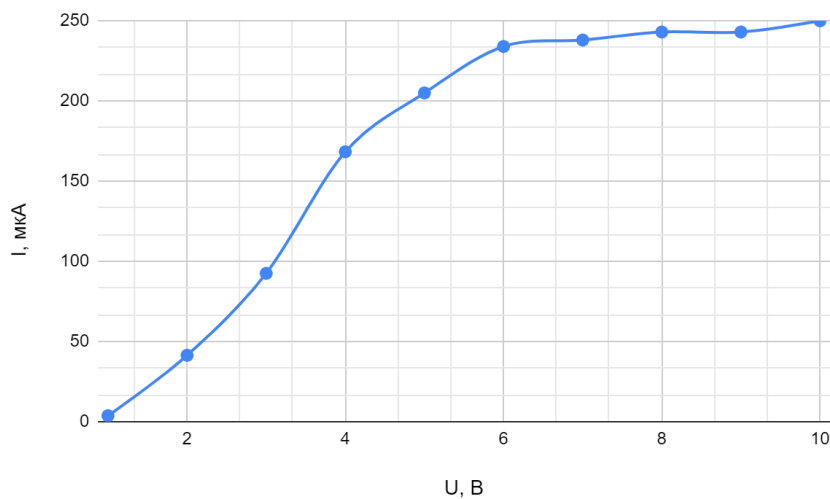


Рис.2.41. ВАХ зразка Ag 15-50 очищений на контактї меланін-меланін

Опір на лінійній ділянці від 1 до 5 В розраховується за формулою:

$$R = \frac{5 \text{ В} - 1 \text{ В}}{205 \text{ мкА} - 3,7 \text{ мкА}} = 19,8 \text{ кОм}$$

Відстань між контактами меланін-меланін на зразку S = 1,4 см.

$$R = 14,14 \text{ кОм/см}$$

Контакта p-р-Si на зразку немає, тому залежність p-р-Si - меланін відсутня.

Таблиця 10.3.1 - Залежність I/U на контактї підкладка (+) - меланін (-)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	0,8	8,3	38,9	99,1	139,6	152,3	162,3	157,4	162,3	166,7

Таблиця 10.3.2 - Залежність I/U на контакті підкладка (-) - меланін (+)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	-0,4	-1,5	-5,1	-9,4	-16,3	-22,1	-29,5	-34,5	-42,4	-48,7

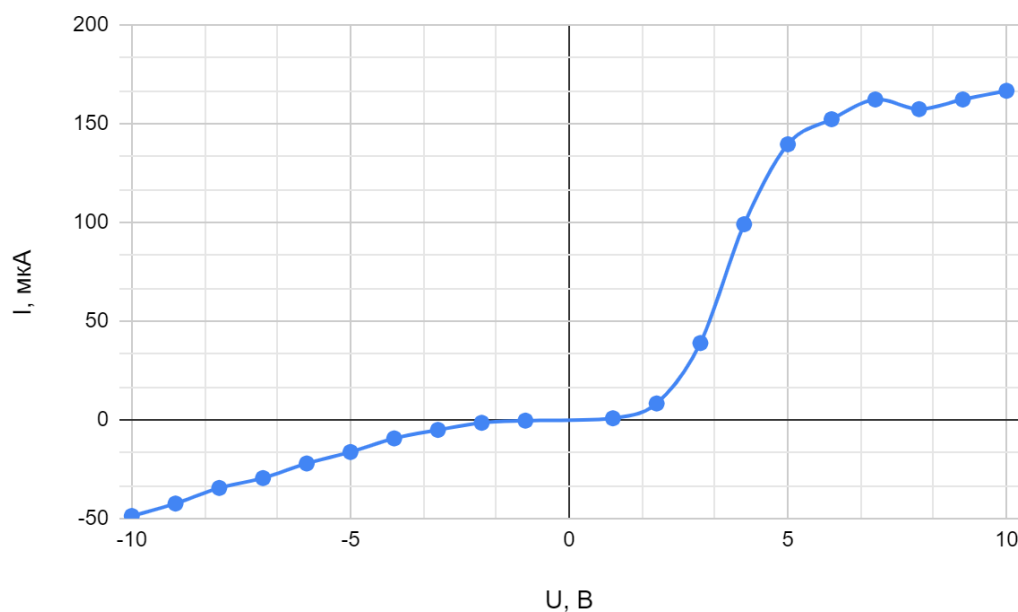


Рис.2.42. ВАХ зразка Ag 15-50 очищений на контакті підкладка-меланін

Коефіцієнт випрямлення діода розраховується за формулою:

$$K = \frac{I(U_n)}{I(-U_n)} = \frac{I(U_5)}{I(-U_5)} = \frac{139,6 \text{ мкА}}{16,3 \text{ мкА}} = 8,56$$

Таблиця 10.4.1 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка води

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	1	15,7	77,2	226	246	194	185	186	179	184

Таблиця 10.4.2 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка розчину глюкози 1/30 (0,1мл глюкози / 3мл води)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	1,7	19,2	71,5	146,5	177	156	152,3	169	161	163

Таблиця 10.4.3 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка розчину глюкози 1/20 (0,15мл глюкози / 3мл води)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	1,2	19,4	81,7	173,1	232	242	234	254	256	252

Таблиця 10.4.4 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка розчину глюкози 1/10 (0,3мл глюкози / 3мл води)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	3,2	22,7	86,3	205	262	273	276	284	287	276

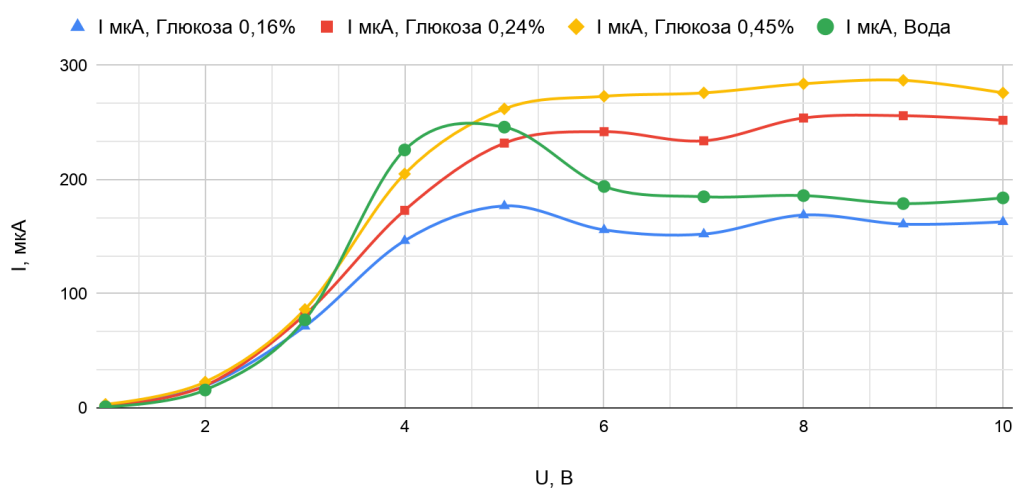


Рис.2.43. ВАХ зразка Ag 15-50 очищений на контакті меланін - меланін з додаванням води і розчину глюкози

Розрахунок чутливості зразка до глюкози.

Точка найбільш явної залежності струму зразка від концентрації глюкози - $U = 4 \text{ В}$.

Розрахунок концентрації глюкози у розчині. За вхідний розчин було взято 5% розчин глюкози.

$$C_{1/30} = \frac{5\% \cdot 0,1 \text{ мл}}{3 \text{ мл} + 0,1 \text{ мл}} = 0,16 \%$$

$$C_{1/20} = \frac{5\% \cdot 0,1 \text{ мл}}{2 \text{ мл} + 0,1 \text{ мл}} = 0,24 \%$$

$$C_{1/10} = \frac{5\% \cdot 0,1 \text{ мл}}{1 \text{ мл} + 0,1 \text{ мл}} = 0,45 \%$$

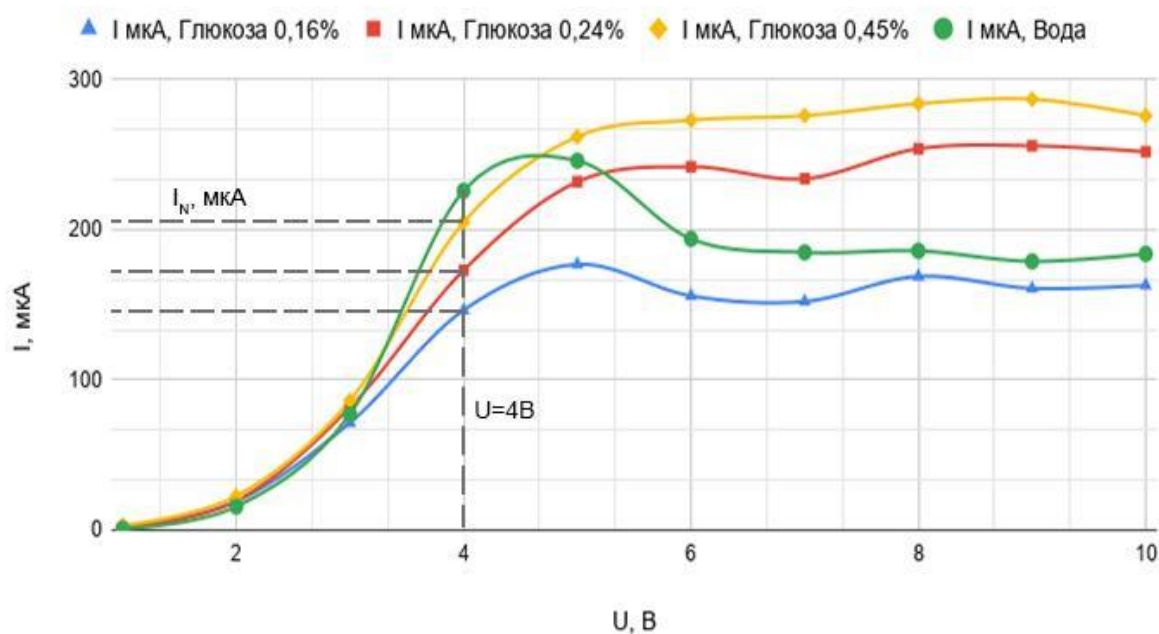


Рис.2.44. Значення струму на $U=4\text{В}$ при різних концентраціях глюкози

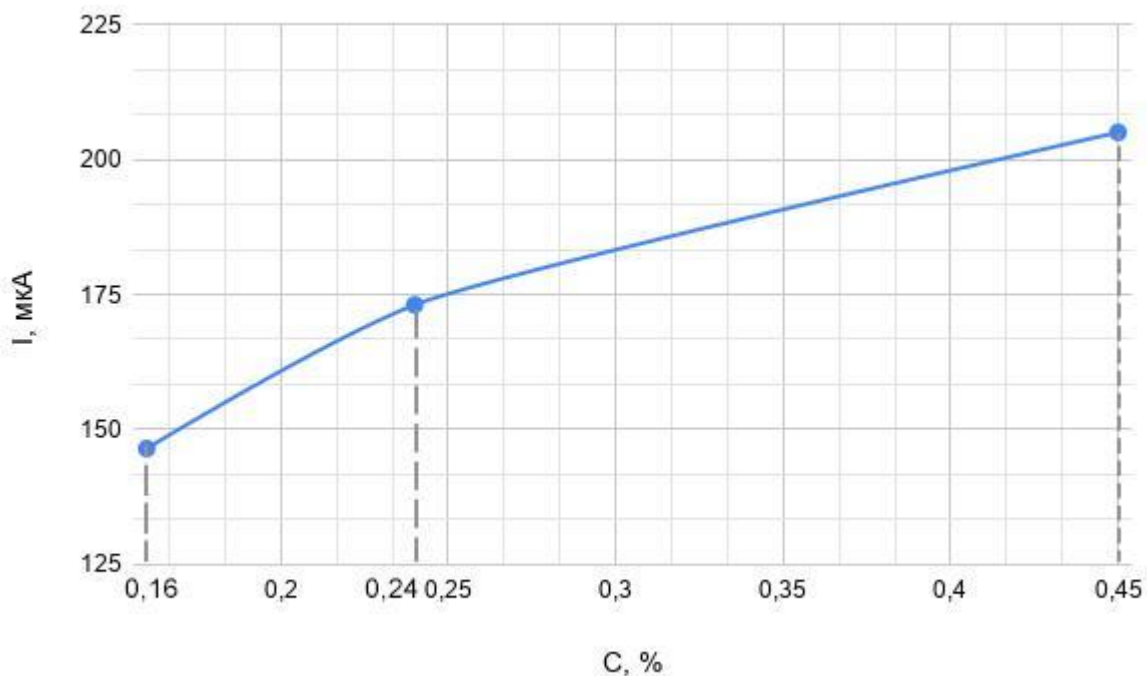


Рис.2.45. Залежність струму від концентрації аналіту

Чутливість розраховується для діапазону за формулою:

$$\alpha = \frac{I_2 - I_1}{C_2 - C_1} = \frac{58,5}{0,29} = 201,7 \frac{\mu A}{\%} = 0,2 \frac{mA}{\%}$$

Одинадцятий зразок: Ag 15-30 очищений

Таблиця 11.1 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	2,7	15,2	45,3	75,3	68,1	74,3	87,7	102,2	120,7	140,6

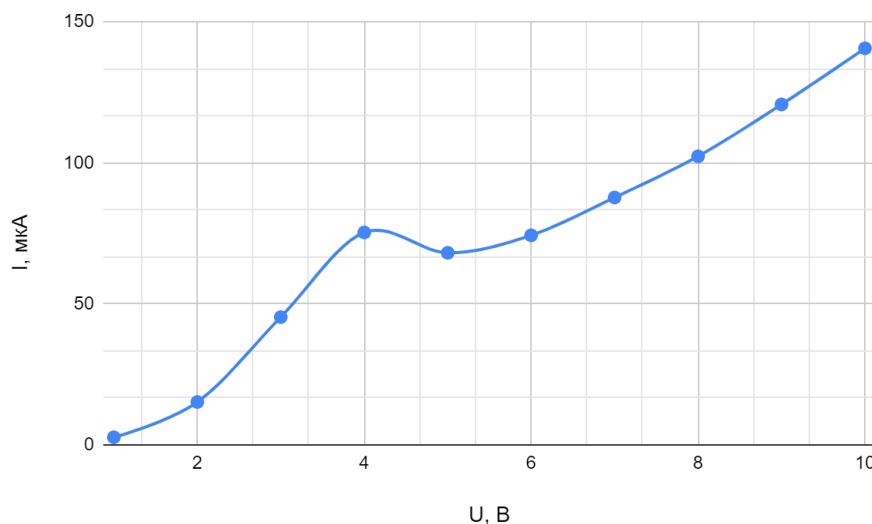


Рис.2.46. ВАХ зразка Ag 15-30 очищений на контакті меланін-меланін

Опір на лінійній ділянці від 1 до 5 В розраховується за формулою:

$$R = \frac{5 \text{ В} - 1 \text{ В}}{68,1 \text{ мкА} - 2,7 \text{ мкА}} = 61,2 \text{ кОм}$$

Відстань між контактами меланін-меланін на зразку $S = 1,46 \text{ см}$.

$$R = 41,9 \text{ кОм/см}$$

Контакта p-or-Si на зразку немає, тому залежність p-or-Si - меланін відсутня.

Таблиця 11.3.1 - Залежність I/U на контакті підкладка (+) - меланін (-)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	0,5	6	24,7	67,1	114,2	156,6	211	245	292	348

Таблиця 11.3.2 - Залежність I/U на контакті підкладка (-) - меланін (+)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	-0,3	-1,3	-5,1	-14,6	-24,7	-39,1	-61,4	-88,4	-107,2	-127,7

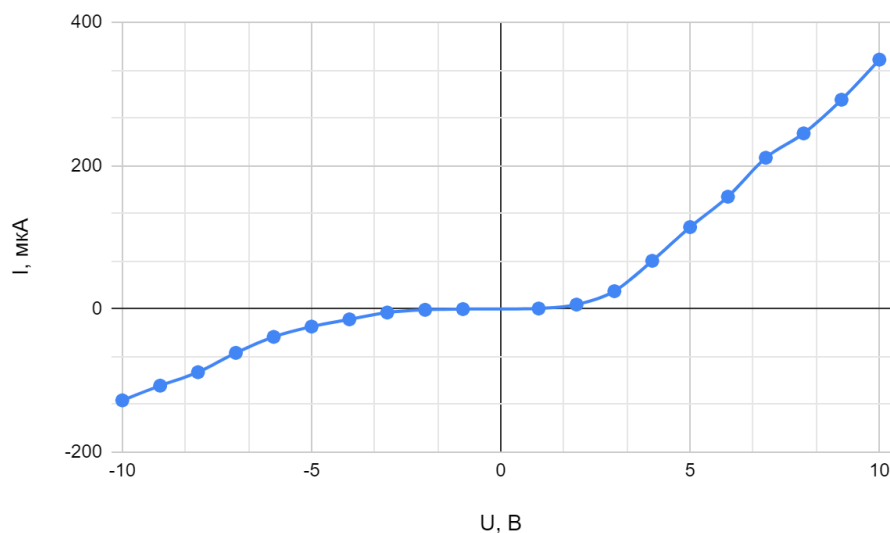


Рис.2.47. ВАХ зразка Ag 15-30 очищений на контактї підкладка-меланін

Коефіцієнт випрямлення діода розраховується за формулою:

$$K = \frac{I(U_n)}{I(-U_n)} = \frac{I(U_5)}{I(-U_5)} = \frac{114,2 \text{ мкА}}{24,7 \text{ мкА}} = 4,62$$

Таблиця 11.4.1 - Залежність I/U на контактї меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка води

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	2	13,9	32,2	75,5	115,3	123,7	143,2	164	175	195

Таблиця 11.4.2 - Залежність I/U на контактї меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка розчину глюкози 1/30 (0,1мл глюкози / 3мл води)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	2,3	10,9	56,1	136,2	155,6	163	182	196	200	225

Таблиця 11.4.3 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка розчину глюкози 1/20 (0,15мл глюкози / 3мл води)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	3,5	19,3	109,2	119,2	211	226	241	240	255	253

Таблиця 11.4.4 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка розчину глюкози 1/10 (0,3мл глюкози / 3мл води)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	2,4	10,7	62,7	168,7	246	256	245	250	270	281

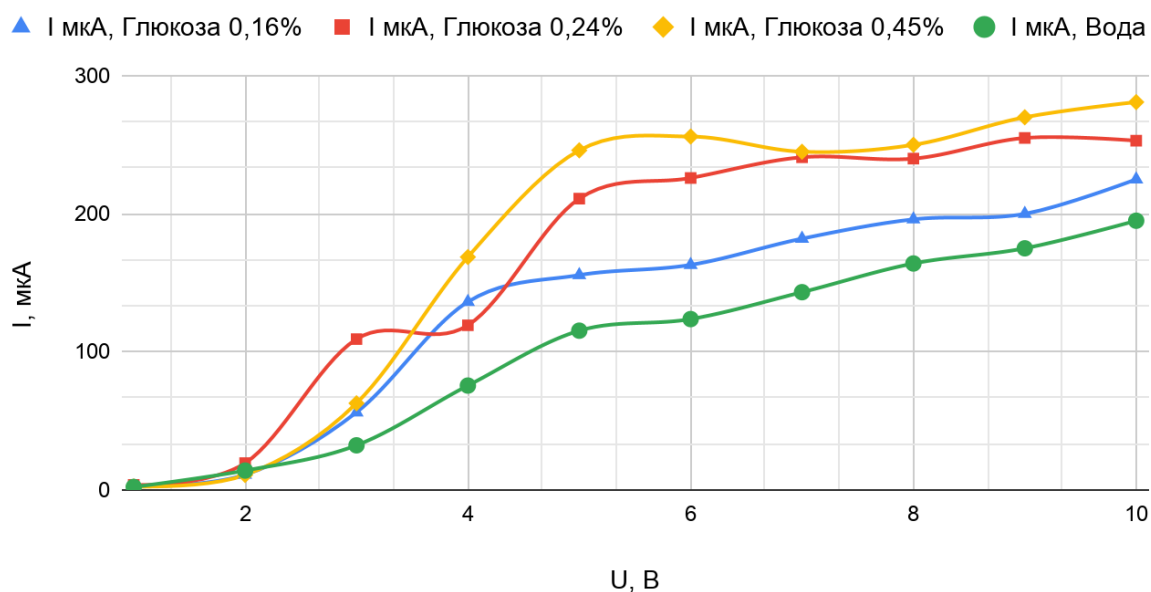


Рис.2.48. ВАХ зразка Ag 15-30 очищений на контакті меланін - меланін з додаванням води і розчину глюкози

Розрахунок чутливості зразка до глюкози.

Точка найбільш явної залежності струму зразка від концентрації глюкози - $U = 5$ В.

Розрахунок концентрації глюкози у розчині. За вхідний розчин було взято 5% розчин глюкози.

$$C_{1/30} = \frac{5\% \cdot 0,1 \text{ мл}}{3 \text{ мл} + 0,1 \text{ мл}} = 0,16 \%$$

$$C_{1/20} = \frac{5\% \cdot 0,1 \text{ мл}}{2 \text{ мл} + 0,1 \text{ мл}} = 0,24 \%$$

$$C_{1/10} = \frac{5\% \cdot 0,1 \text{ мл}}{1 \text{ мл} + 0,1 \text{ мл}} = 0,45 \%$$

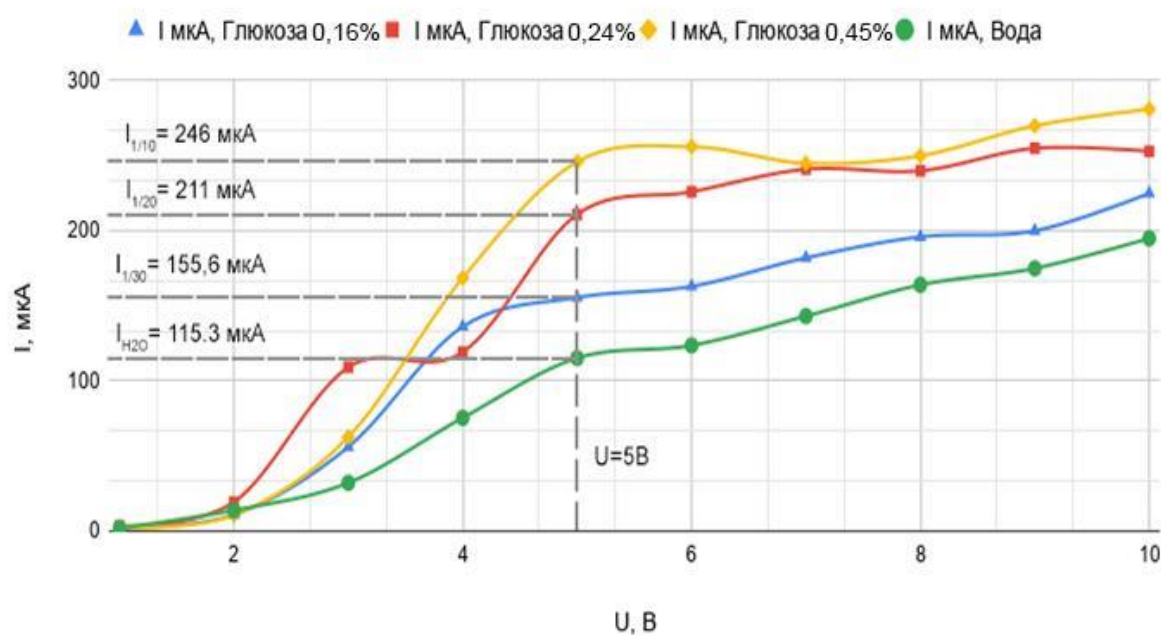


Рис.2.49. Значення струму на $U=5\text{В}$ при різних концентраціях глюкози

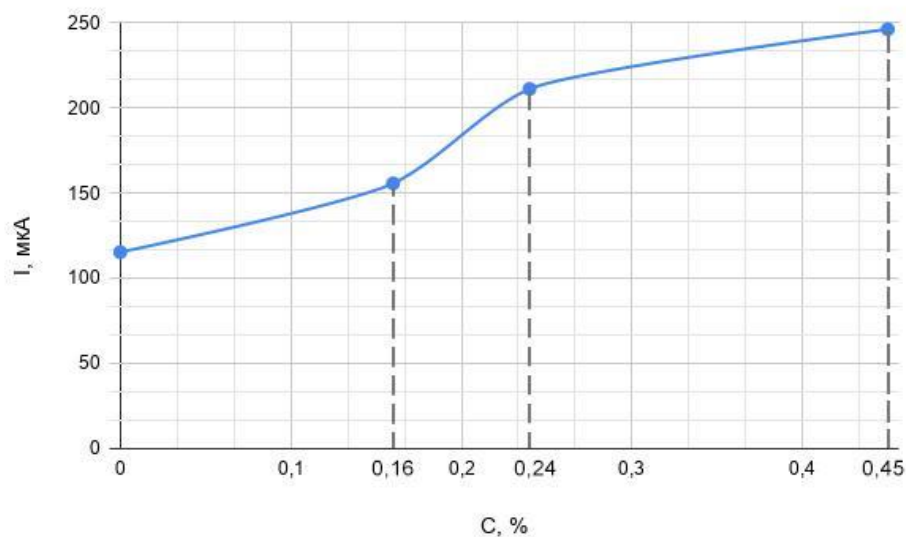


Рис.2.50. Залежність струму від концентрації аналіту

Чутливість розраховується для діапазону за формулою:

$$\alpha = \frac{I_2 - I_1}{C_2 - C_1} = \frac{130,7}{0,45} = 290,44 \frac{\mu\text{A}}{\%} = 0,29 \frac{\text{mA}}{\%}$$

Дванадцятий зразок: Ag 10с 30 хв. тр. очищений

Таблиця 12.1 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	8,4	155	779	1415	2080	2440	2710	2880	3260	3620

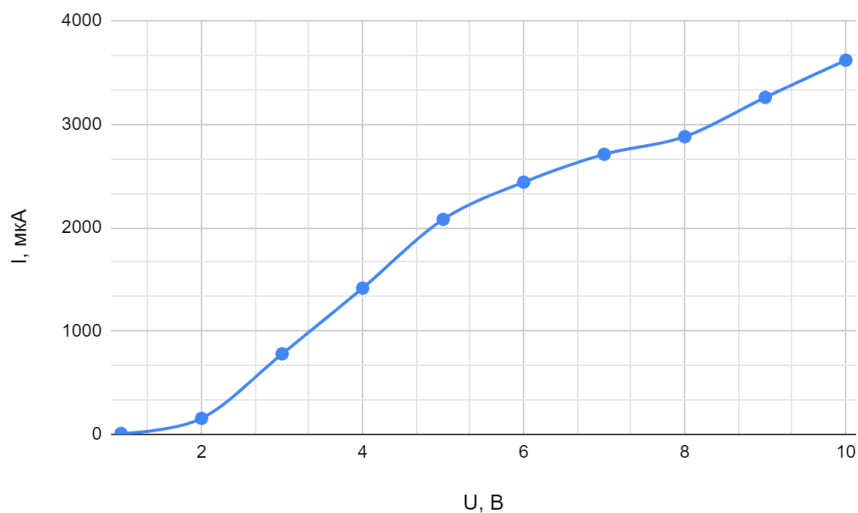


Рис.2.51. ВАХ зразка Ag 10с 30 хв. тр. очищений на контакті меланін-меланін

Опір на лінійній ділянці від 1 до 5 В розраховується за формулою:

$$R = \frac{5 \text{ В} - 1 \text{ В}}{2080 \text{ мкА} - 8,4 \text{ мкА}} = 1,93 \text{ кОм}$$

Відстань між контактами меланін-меланін на зразку $S = 0,73 \text{ см}$.

$$R = 2,64 \text{ кОм/см}$$

Таблиця 12.2.1 - Залежність I/U на контакті p⁺g-Si (+) - меланін (-)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	10,5	155,6	753	1487	2190	2670	3140	3640	4340	5940

Таблиця 12.2.2 - Залежність I/U на контакті p⁺g-Si (-) - меланін (+)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	-18,9	-362	-1420	-2820	-3720	-4040	-4510	-4680	-4810	-4880

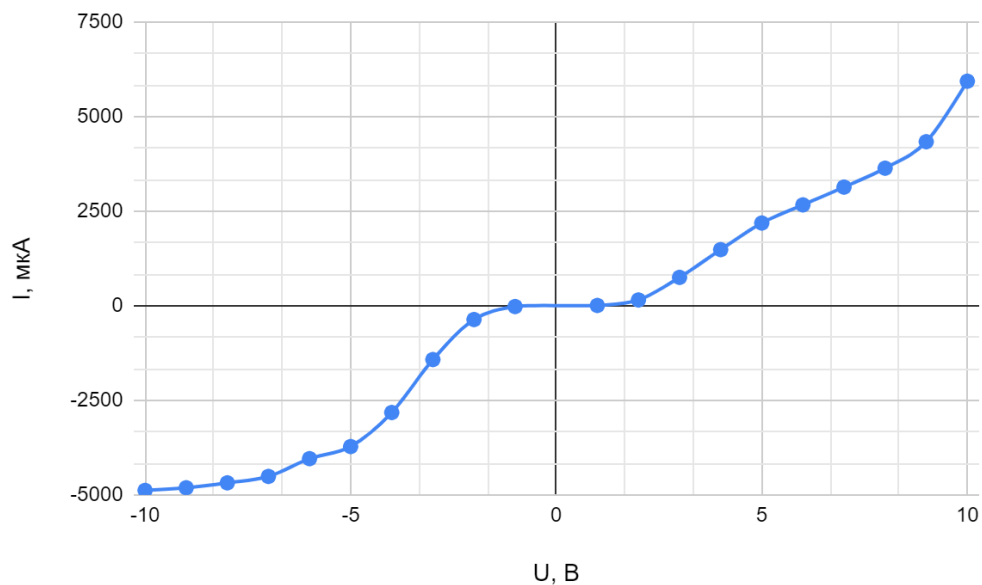


Рис.2.52. ВАХ зразка Ag 10с 30 хв. тр. очищений на контакті рор-Si - меланін

Коефіцієнт випрямлення діода розраховується за формулою:

$$K = \frac{I(U_n)}{I(-U_n)} = \frac{I(U_5)}{I(-U_5)} = \frac{2190 \text{ мкА}}{3720 \text{ мкА}} = 0,58$$

Таблиця 12.3.1 - Залежність I/U на контакті підкладка (+) - меланін (-)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	11,5	364	1492	3100	4260	4780	5160	5310	5430	5370

Таблиця 12.3.2 - Залежність I/U на контакті підкладка (-) - меланін (+)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	-11,9	-24,2	-44	-64,4	-86,6	-107,6	-143,9	-176,6	-224	-257

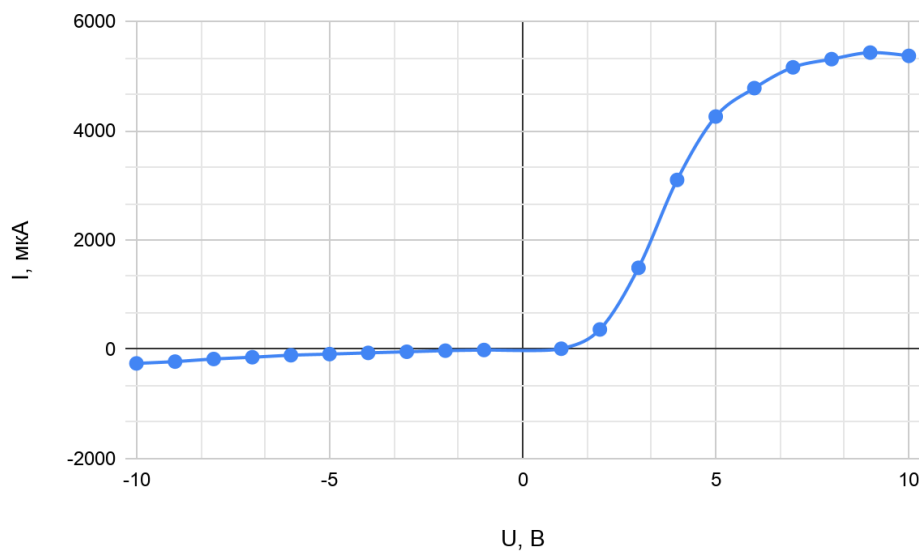


Рис.2.53. ВАХ зразка Ag 10с 30 хв. тр. очищений на контактi підкладка - меланін

Коефіцієнт випрямлення діода розраховується за формулою:

$$K = \frac{I(U_n)}{I(-U_n)} = \frac{I(U_5)}{I(-U_5)} = \frac{4260 \text{ мкА}}{86,6 \text{ мкА}} = 49,2$$

Таблиця 12.4.1 - Залежність I/U на контактi меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка води

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	3,6	142,1	1544	3420	4560	5190	5250	5440	5740	5970

Таблиця 12.4.2 - Залежність I/U на контактi меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка розчину глюкози 1/30 (0,1мл глюкози / 3мл води)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	5,4	156,3	1370	3370	4680	5360	5750	5940	6240	6260

Таблиця 12.4.3 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка розчину глюкози 1/20 (0,15мл глюкози / 3мл води)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	2,8	122,3	1057	3020	4530	5420	5910	6250	6490	6720

Таблиця 12.4.4 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка розчину глюкози 1/10 (0,3мл глюкози / 3мл води)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	3,8	144,5	1311	3130	4470	5330	5950	6270	6400	6840

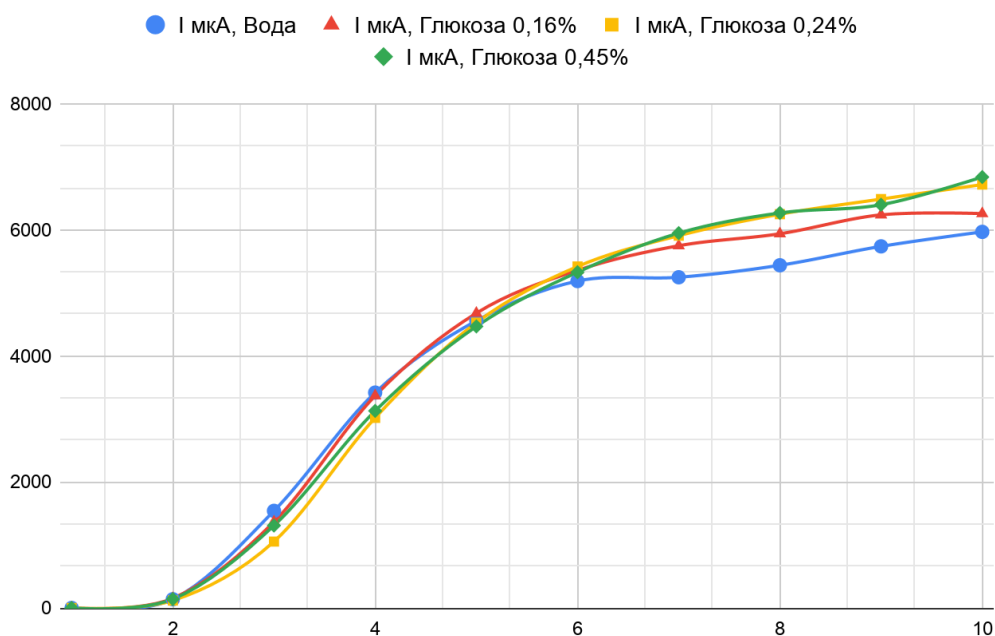


Рис.2.54. ВАХ зразка Ag 10с 30 хв. тр. очищений на контакті меланін - меланін з додаванням води і розчину глюкози

Надалі дослідження неможливі, характеристики неявні.

Тринадцятий зразок: Cu 30 м clear 50 хв

Таблиця 13.1 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	1,1	5,2	15,6	31,3	55,9	83,1	115,6	154,6	210	223

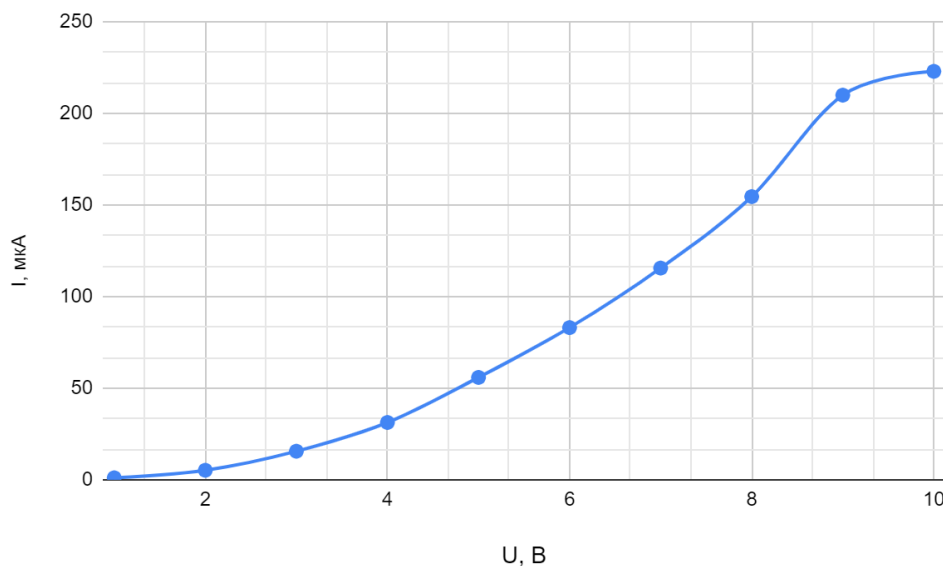


Рис.2.55. ВАХ зразка Cu 30 м. clear 50 хв. на контакті меланін-меланін

Опір на лінійній ділянці від 1 до 5 В розраховується за формулою:

$$R = \frac{5 \text{ В} - 1 \text{ В}}{55,9 \text{ мкА} - 1,1 \text{ мкА}} = 72,9 \text{ кОм}$$

Відстань між контактами меланін-меланін на зразку S = 1,05 см.

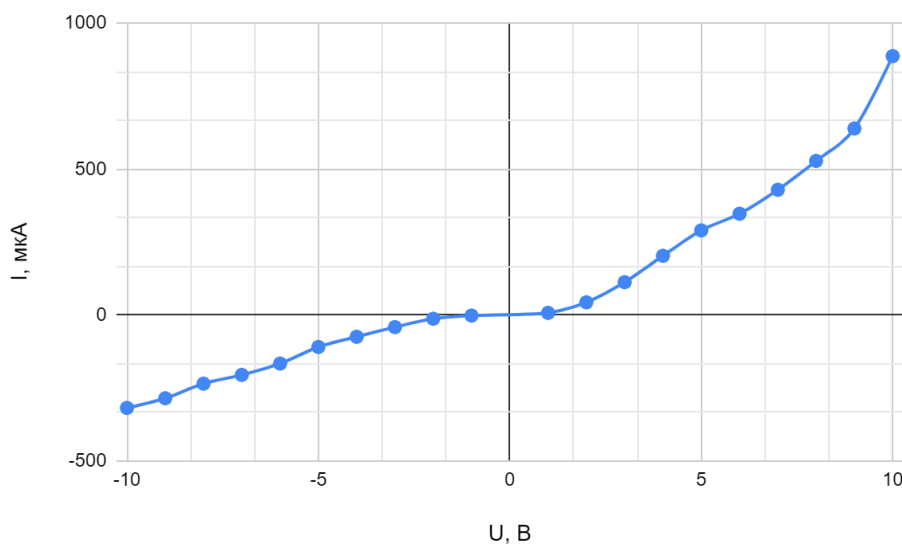
$$R = 69,4 \text{ кОм/см}$$

Таблиця 13.2.1 - Залежність I/U на контакті p-or-Si (+) - меланін (-)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	7,4	43,7	112,6	203	290	347	429	528	639	887

Таблиця 13.2.2 - Залежність I/U на контакті p⁺g-Si (-) - меланін (+)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	-1,9	-12,6	-41,3	-74,4	-109,5	-166,2	-205	-235	-285	-318

Рис.2.56. ВАХ зразка Si 30 м. clear 50 хв. на контакті p⁺g-Si-меланін

Коефіцієнт випрямлення діода розраховується за формулою:

$$K = \frac{I(U_n)}{I(-U_n)} = \frac{I(U_5)}{I(-U_5)} = \frac{290 \text{ мкА}}{109,5 \text{ мкА}} = 2,64$$

Таблиця 13.3.1 - Залежність I/U на контакті підкладка (+) - меланін (-)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	4,1	23,5	67,6	101,4	136,6	169,7	204	243	269	293

Таблиця 13.3.2 - Залежність I/U на контакті підкладка (-) - меланін (+)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	-3,5	-5,5	-7,6	-9,8	-12,5	-16	-21,8	-18,7	-20,7	-23,5

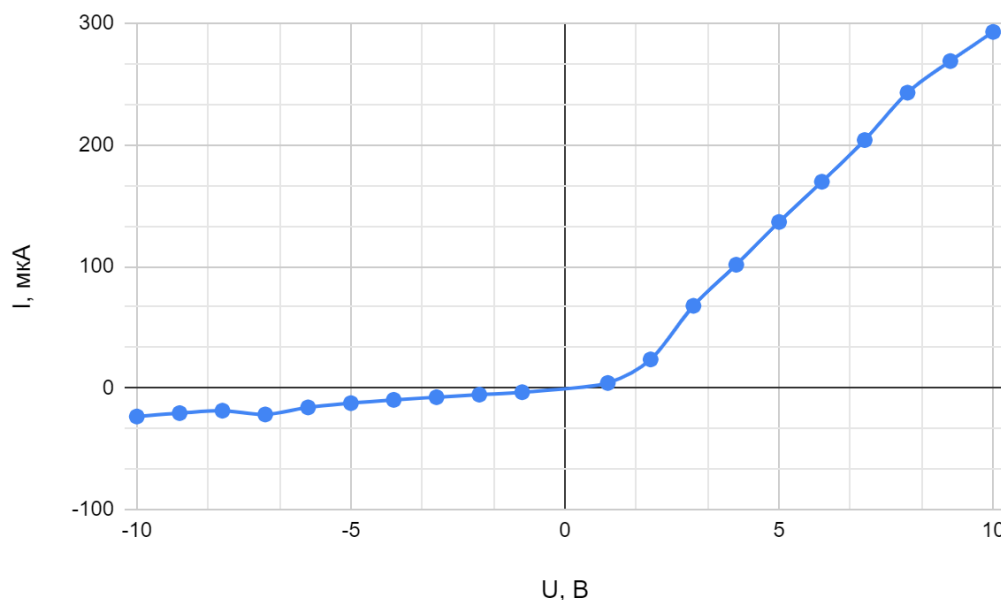


Рис.2.57. ВАХ зразка Cu 30 м. clear 50 хв. на контактi підкладка-меланін

Коефіцієнт випрямлення діода розраховується за формулою:

$$K = \frac{I(U_n)}{I(-U_n)} = \frac{I(U_5)}{I(-U_5)} = \frac{136,6 \text{ мкА}}{12,5 \text{ мкА}} = 10,9$$

Таблиця 13.4.1 - Залежність I/U на контактi меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка води

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	2,2	15,6	58,6	111,7	163,6	217	261	294	331	371

Таблиця 13.4.2 - Залежність I/U на контактi меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка розчину глюкози 1/30 (0,1мл глюкози / 3мл води)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	3,7	18,7	56,5	119,2	176,7	249	295	339	379	433

Таблиця 13.4.3 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка розчину глюкози 1/20 (0,15мл глюкози / 3мл води)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	2,6	16	57,4	120,5	179,4	250	293	343	381	437

Таблиця 13.4.4 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка розчину глюкози 1/10 (0,3мл глюкози / 3мл води)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	2,9	19,3	58,3	115,2	178,6	253	294	347	397	442

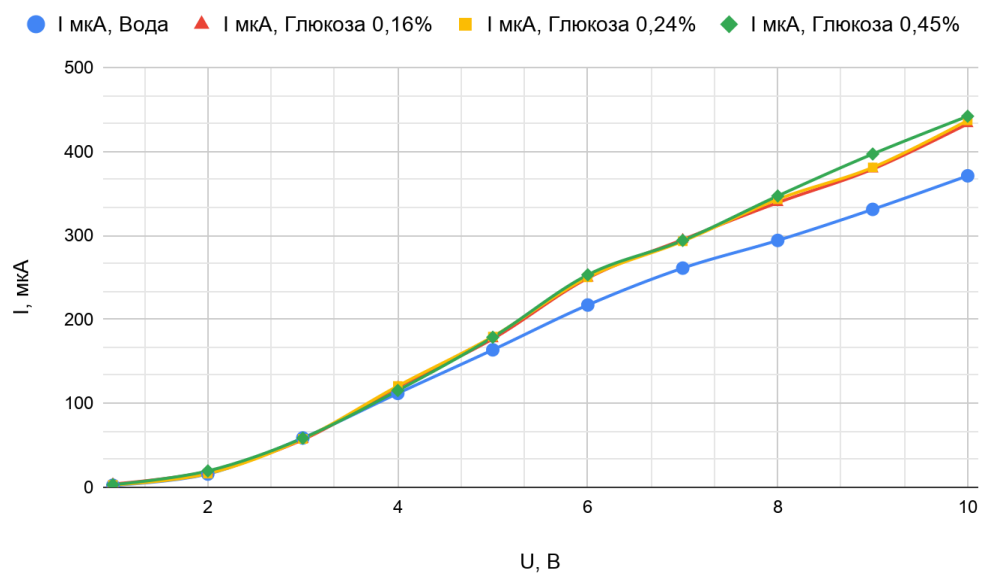


Рис.2.58. ВАХ зразка Ag 10с 30 хв. тр. очищений на контакті меланін - меланін з додаванням води і розчину глюкози

Надалі дослідження неможливі, характеристики неявні.

Чотирнадцятий зразок: Cu 30 м clear 30 хв

Таблиця 14.1 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	1,4	5,2	15,7	37,1	59,6	87,3	134,5	242	423	677

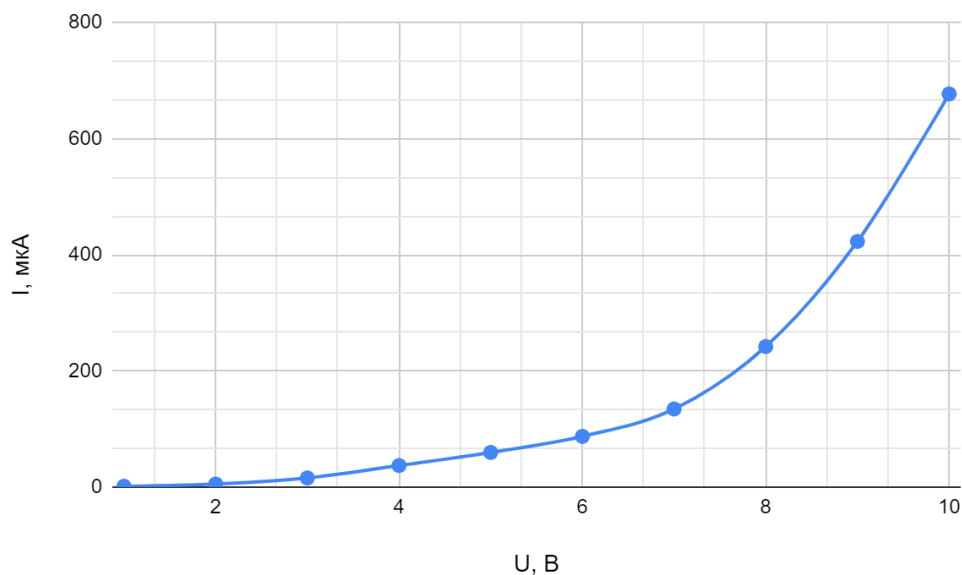


Рис.2.59. ВАХ зразка Cu 30 м. clear 30 хв на контакті меланін-меланін

Опір на лінійній ділянці від 1 до 5 В розраховується за формулою:

$$R = \frac{5 \text{ В} - 1 \text{ В}}{59,6 \text{ мкА} - 1,4 \text{ мкА}} = 68,7 \text{ кОм}$$

Відстань між контактами меланін-меланін на зразку $S = 0,87$ см.

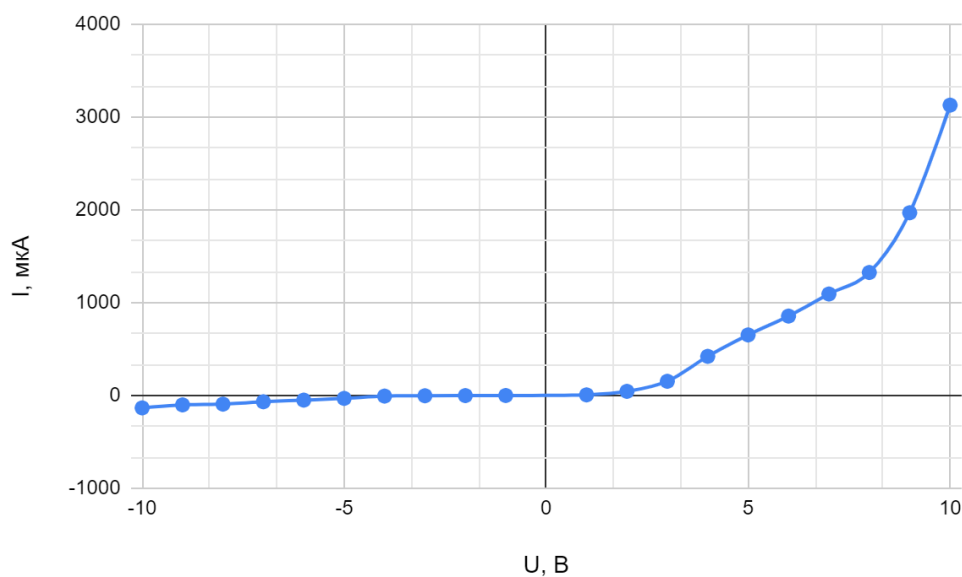
$$R = 78,9 \text{ кОм/см}$$

Таблиця 14.2.1 - Залежність I/U на контакті p-p-Si (+) - меланін (-)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	6,7	44,8	153,2	422	653	856	1094	1326	1970	3130

Таблиця 14.2.2 - Залежність I/U на контакті p⁺g-Si (-) - меланін (+)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	-0,1	-1	-2,8	-6,3	-31,2	-49,8	-67,4	-93,2	-101,2	-133,6

Рис.2.60. ВАХ зразка Si 30 м. clear 30 хв. на контакті p⁺g-Si-меланін

Коефіцієнт випрямлення діода розраховується за формулою:

$$K = \frac{I(U_n)}{I(-U_n)} = \frac{I(U_5)}{I(-U_5)} = \frac{653 \text{ мкА}}{31,2 \text{ мкА}} = 20,9$$

Таблиця 14.3.1 - Залежність I/U на контакті підкладка (+) - меланін (-)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	0,8	3,4	12,6	28,2	45,8	67,2	85,9	118,3	129,5	184

Таблиця 14.3.2 - Залежність I/U на контакті підкладка (-) - меланін (+)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	-0,2	-0,7	-1,7	-4,7	-8,4	-12,1	-13,3	-29,7	-40,4	-89,3

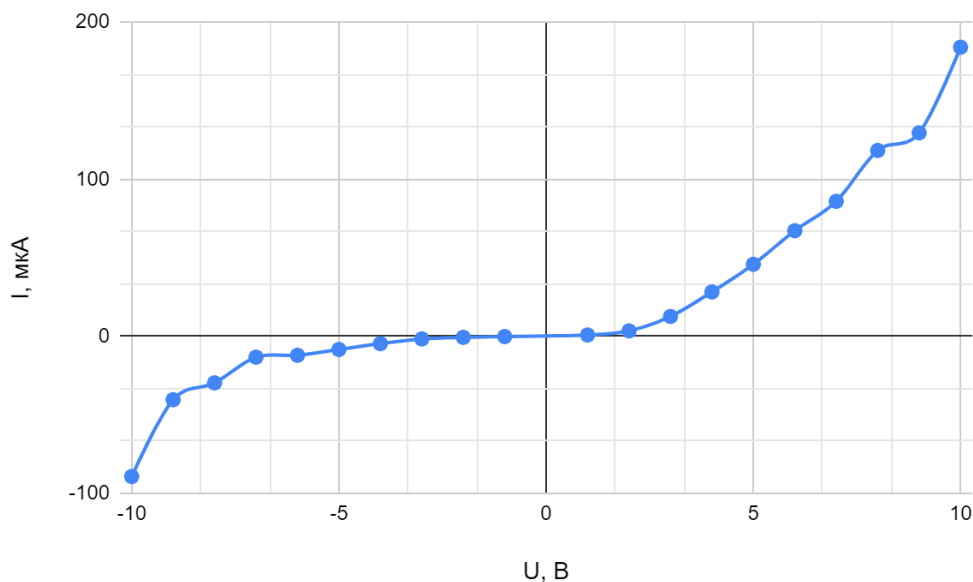


Рис.2.61. ВАХ зразка Cu 30 м. clear 30 хв. на контактi підкладки-меланін

Коефіцієнт випрямлення діода розраховується за формулою:

$$K = \frac{I(U_n)}{I(-U_n)} = \frac{I(U_5)}{I(-U_5)} = \frac{45,8 \text{ мкА}}{8,4 \text{ мкА}} = 5,45$$

Таблиця 14.4.1 - Залежність I/U на контактi меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка води

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	5,7	37,6	105,6	214	334	452	542	620	717	814

Таблиця 14.4.2 - Залежність I/U на контактi меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка розчину глюкози 1/30 (0,1мл глюкози / 3мл води)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	0,9	10,7	37,2	102,3	176	271	381	507	671	786

Таблиця 14.4.3 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка розчину глюкози 1/20 (0,15мл глюкози / 3мл води)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	0,1	3,7	19,7	76,1	133	211	275	316	374	472

Таблиця 14.4.4 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка розчину глюкози 1/10 (0,3мл глюкози / 3мл води)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	0,4	2,6	15	37,8	69,7	123,4	213	247	305	419

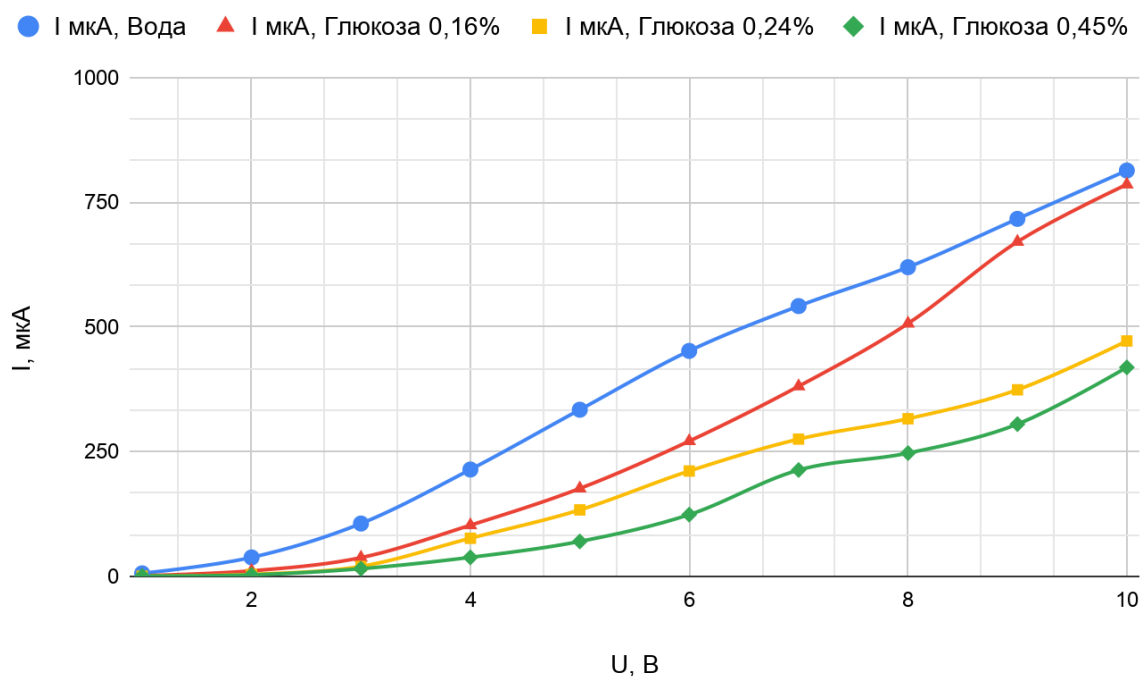


Рис.2.62. ВАХ зразка Cu 30 м. clear 30 хв на контакті меланін - меланін з додаванням води і розчину глюкози

Розрахунок чутливості зразка до глюкози.

Точка найбільш явної залежності струму зразка від концентрації глюкози - $U = 7$ В.

Розрахунок концентрації глюкози у розчині. За вхідний розчин було взято 5% розчин глюкози.

$$C_{1/30} = \frac{5\% \cdot 0,1 \text{ мл}}{3 \text{ мл} + 0,1 \text{ мл}} = 0,16 \%$$

$$C_{1/20} = \frac{5\% \cdot 0,1 \text{ мл}}{2 \text{ мл} + 0,1 \text{ мл}} = 0,24 \%$$

$$C_{1/10} = \frac{5\% \cdot 0,1 \text{ мл}}{1 \text{ мл} + 0,1 \text{ мл}} = 0,45 \%$$

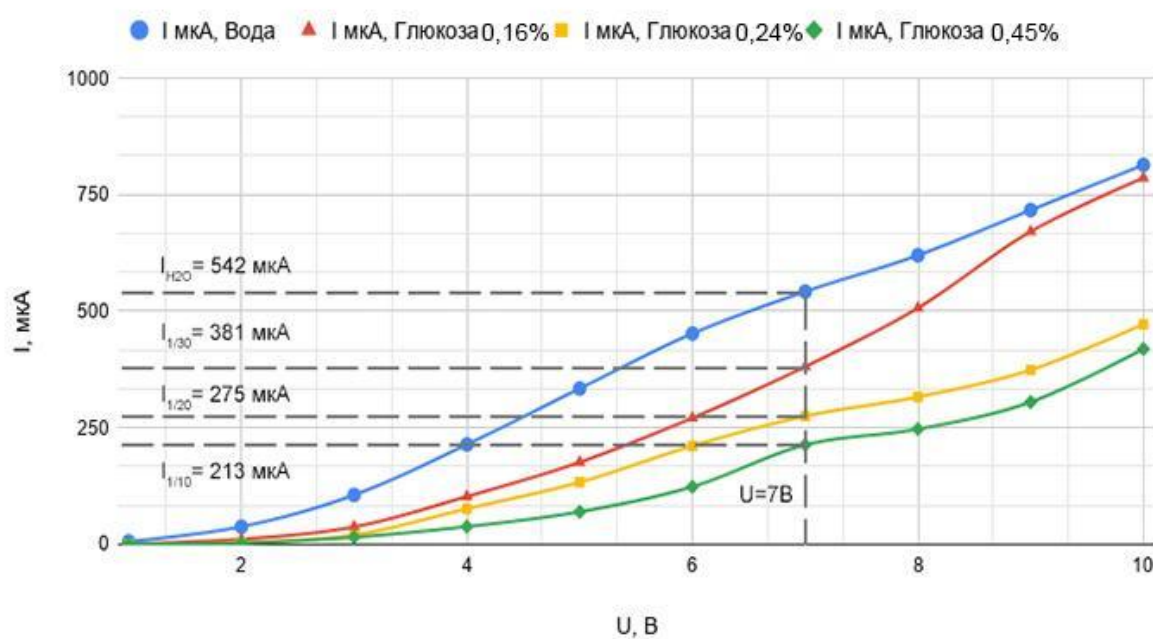


Рис.2.63. Значення струму на U=7В при різних концентраціях глюкози

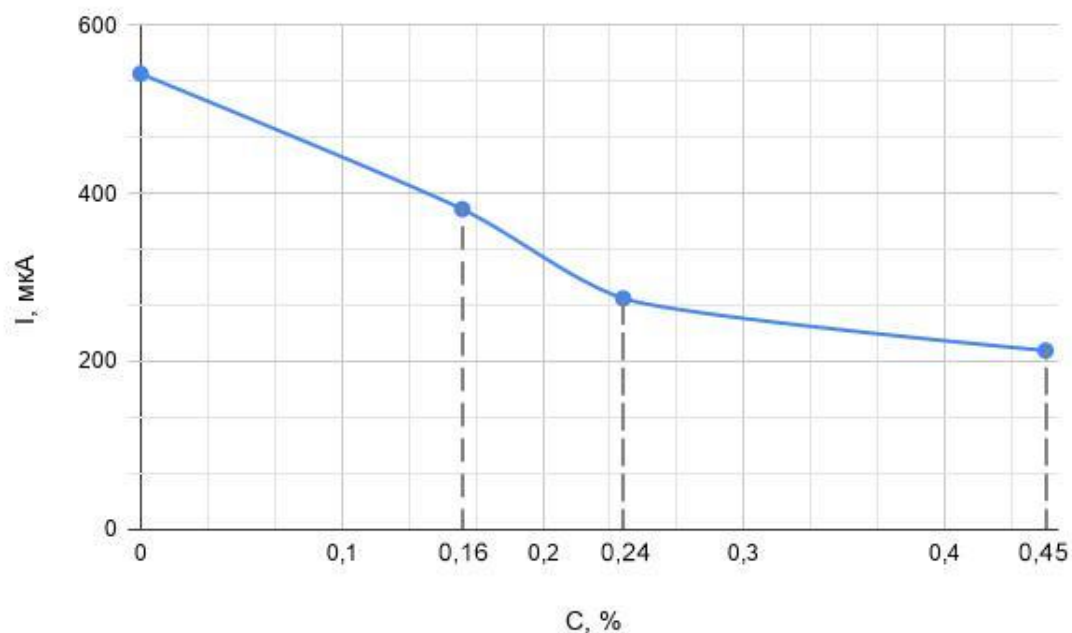


Рис.2.64. Залежність струму від концентрації аналіту

Чутливість розраховується для діапазону за формулою:

$$\alpha = \frac{I_2 - I_1}{C_2 - C_1} = \frac{267}{-0,24} = -1112,5 \frac{\text{мкА}}{\%} = -1,11 \frac{\text{мА}}{\%}$$

П'ятнадцятий зразок: Cu fast 30 хв

Таблиця 15.1 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	1	8,6	51,3	97,2	129,4	163	198	237	273	313

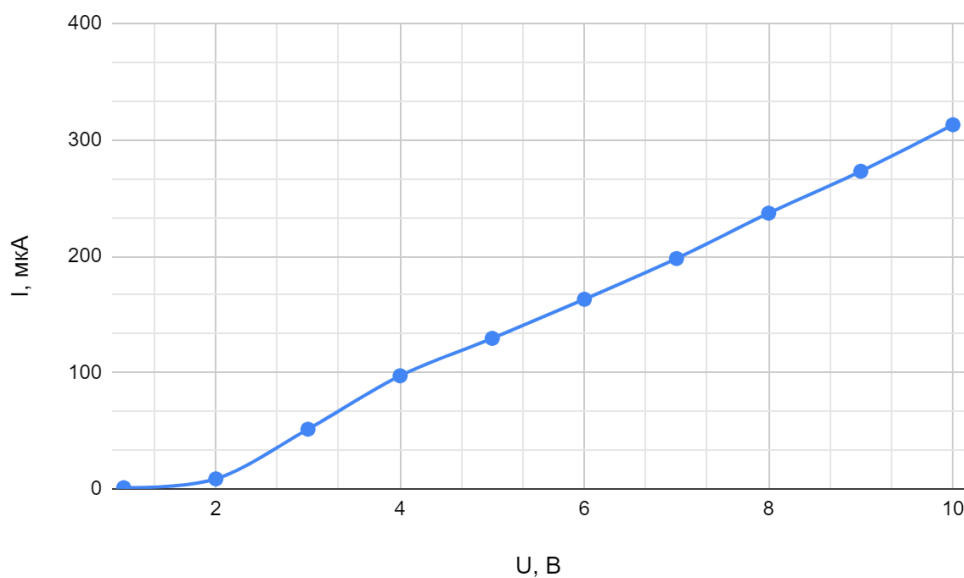


Рис.2.65. ВАХ зразка Cu fast 30 хв на контакті меланін-меланін

Опір на лінійній ділянці від 1 до 5 В розраховується за формулою:

$$R = \frac{5 \text{ В} - 1 \text{ В}}{129,4 \text{ мкА} - 1 \text{ мкА}} = 31,15 \text{ кОм}$$

Відстань між контактами меланін-меланін на зразку $S = 0,7 \text{ см}$.

$$R = 44,5 \text{ кОм/см}$$

Таблиця 15.2.1 - Залежність I/U на контакті p-or-Si (+) - меланін (-)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	1,2	7,5	31,2	74,5	130,4	223	331	451	581	843

Таблиця 15.2.2 - Залежність I/U на контакті p-or-Si (-) - меланін (+)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	-0,3	-1,1	-2,4	-4,5	-7,8	-11,4	-22	-44,6	-102,8	-137,4

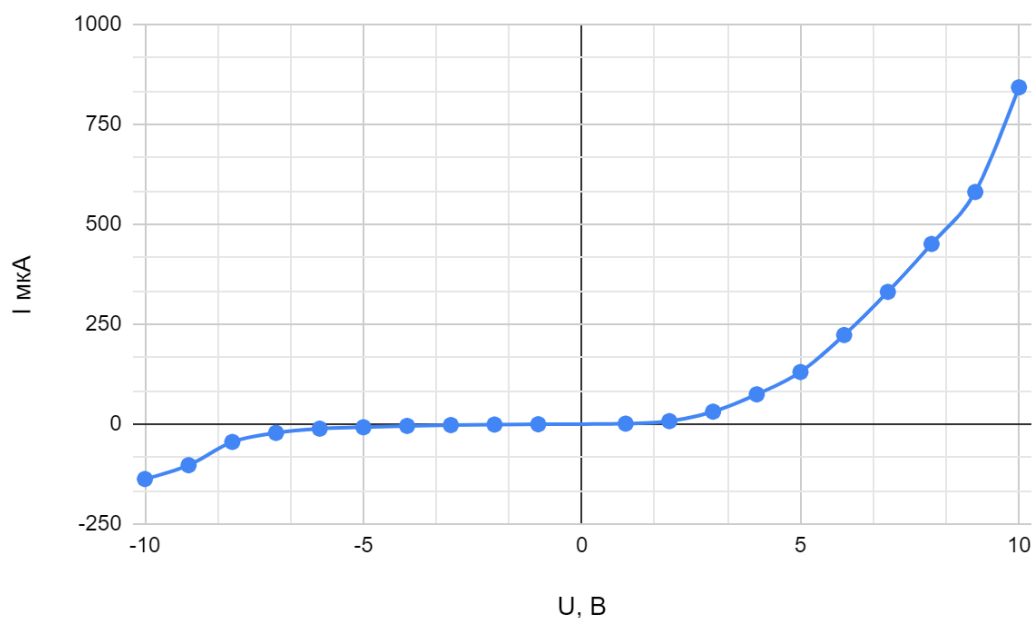


Рис.2.66. ВАХ зразка Cu fast 30 хв. на контакті p-Si-меланін

Коефіцієнт випрямлення діода розраховується за формулою:

$$K = \frac{I(U_n)}{I(-U_n)} = \frac{I(U_5)}{I(-U_5)} = \frac{130,4 \text{ мкА}}{7,8 \text{ мкА}} = 16,7$$

Таблиця 15.3.1 - Залежність I/U на контакті підкладка (+) - меланін (-)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	1,6	23,5	101,7	166,2	222	252	274	315	349	378

Таблиця 15.3.2 - Залежність I/U на контакті підкладка (-) - меланін (+)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	-6,9	-11	-15,4	-19,8	-24,5	-29,2	-34,5	-41,3	-42,4	-46,9

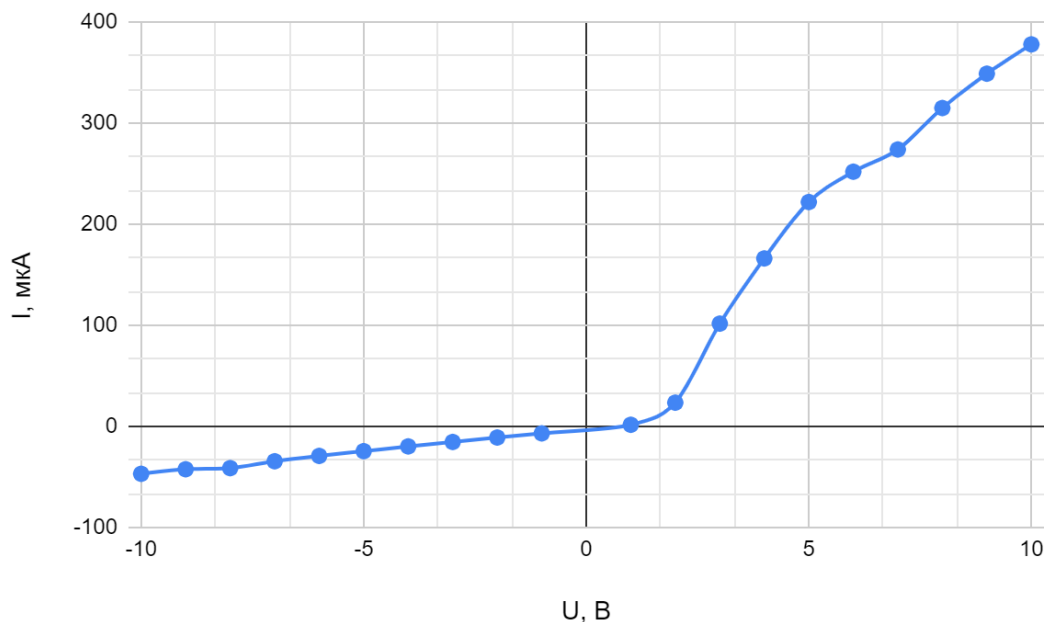


Рис.2.67. ВАХ зразка Cu fast 30 хв. на контакті підкладка-меланін

Коефіцієнт випрямлення діода розраховується за формулою:

$$K = \frac{I(U_n)}{I(-U_n)} = \frac{I(U_5)}{I(-U_5)} = \frac{222 \text{ мкА}}{24,5 \text{ мкА}} = 9,06$$

Таблиця 15.4.1 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка води

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	3,1	13,6	38,2	70,1	95,3	115	121,5	128,6	136,7	140

Таблиця 15.4.2 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка розчину глюкози 1/30 (0,1мл глюкози / 3мл води)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	3,3	16,2	49,9	100	143	187	209	231	256	261

Таблиця 15.4.3 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка розчину глюкози 1/20 (0,15мл глюкози / 3мл води)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	0,7	4,3	34,3	105,6	175,6	245	301	352	411	457

Таблиця 15.4.4 - Залежність I/U на контакті меланін-меланін з додаванням на поверхню зразка розчину глюкози 1/10 (0,3мл глюкози / 3мл води)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	1	8,4	51,5	107	177	251	311	380	480	527

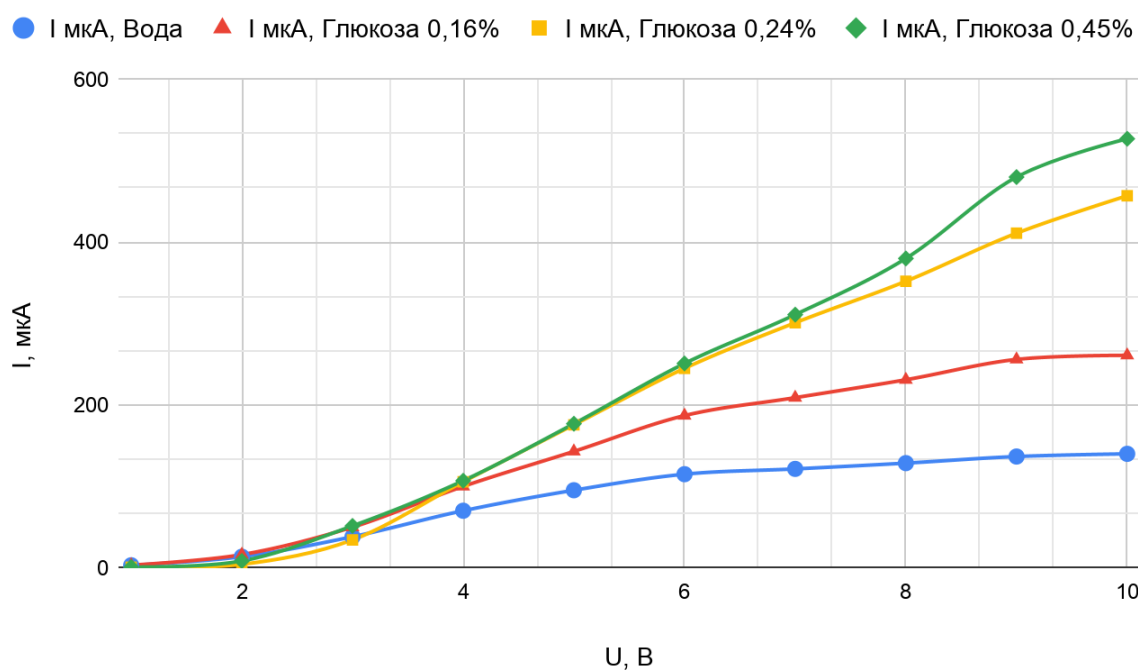


Рис.2.68. ВАХ зразка Cu fast 30 хв на контакті меланін - меланін з додаванням води і розчину глюкози

Розрахунок чутливості зразка до глюкози.

Точка найбільш явної залежності струму зразка від концентрації глюкози - $U = 9$ В.

Розрахунок концентрації глюкози у розчині. За вхідний розчин було взято 5% розчин глюкози.

$$C_{1/30} = \frac{5\% \cdot 0,1 \text{ мл}}{3 \text{ мл} + 0,1 \text{ мл}} = 0,16 \%$$

$$C_{1/20} = \frac{5\% \cdot 0,1 \text{ мл}}{2 \text{ мл} + 0,1 \text{ мл}} = 0,24 \%$$

$$C_{1/10} = \frac{5\% \cdot 0,1 \text{ мл}}{1 \text{ мл} + 0,1 \text{ мл}} = 0,45 \%$$

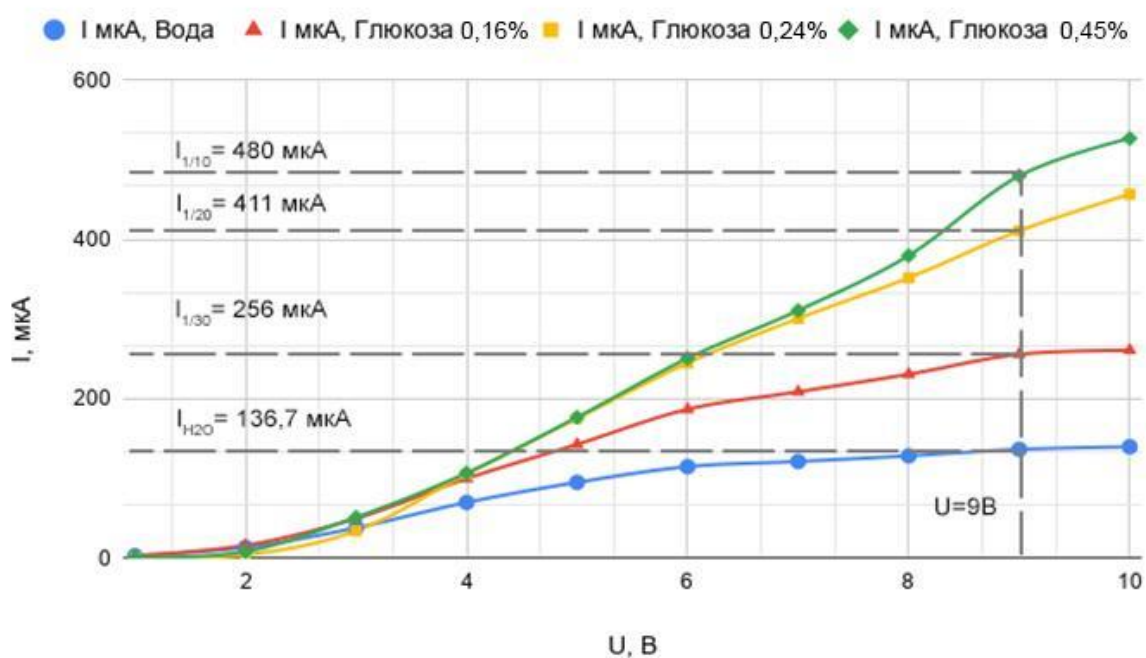


Рис.2.69. Значення струму на $U = 9 \text{ В}$ при різних концентраціях глюкози

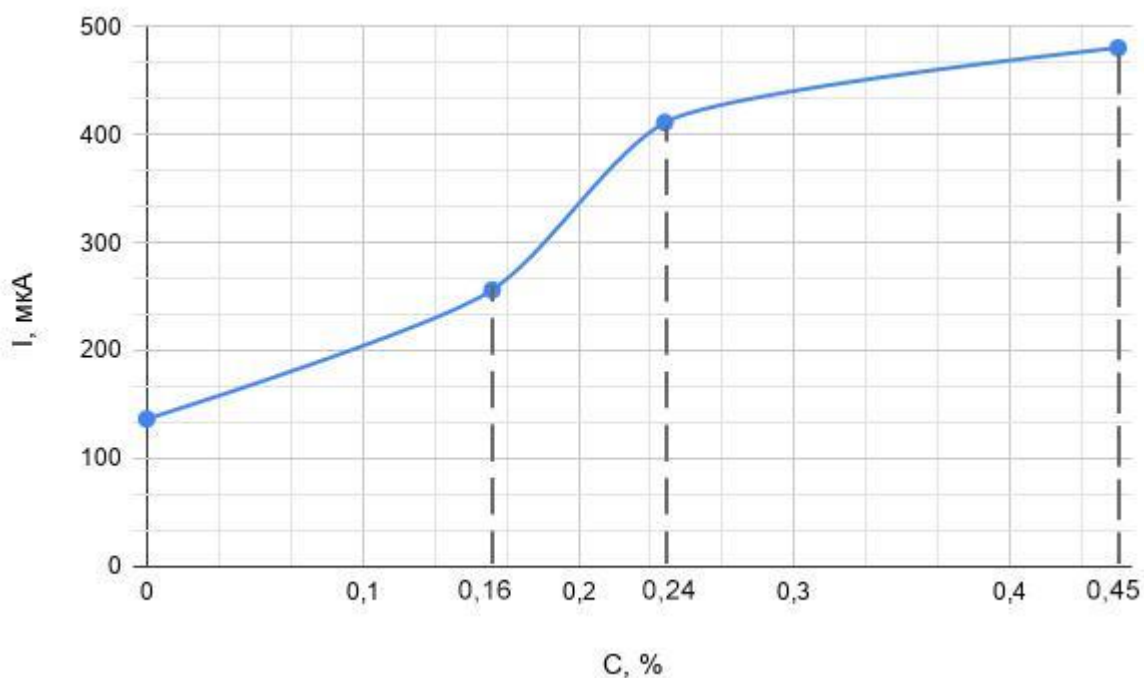


Рис.2.70. Залежність струму від концентрації аналіту

Чутливість розраховується для діапазону за формулою:

$$\alpha = \frac{I_2 - I_1}{C_2 - C_1} = \frac{343,3}{0,45} = 762,8 \frac{\text{мкА}}{\%} = 0,76 \frac{\text{мА}}{\%}$$

Шістнадцятий зразок: Cu fast 50 хв

Таблиця 16.2.1 - Залежність I/U на контакті p-or-Si (+) - меланін (-)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	0,8	9,1	44,3	104,3	163,2	236	271	343	421	561

Таблиця 16.2.2 - Залежність I/U на контакті p-or-Si (-) - меланін (+)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	-0,5	-3,4	-9	-13,2	-16,7	-23,7	-32	-35	-38,6	-44,8

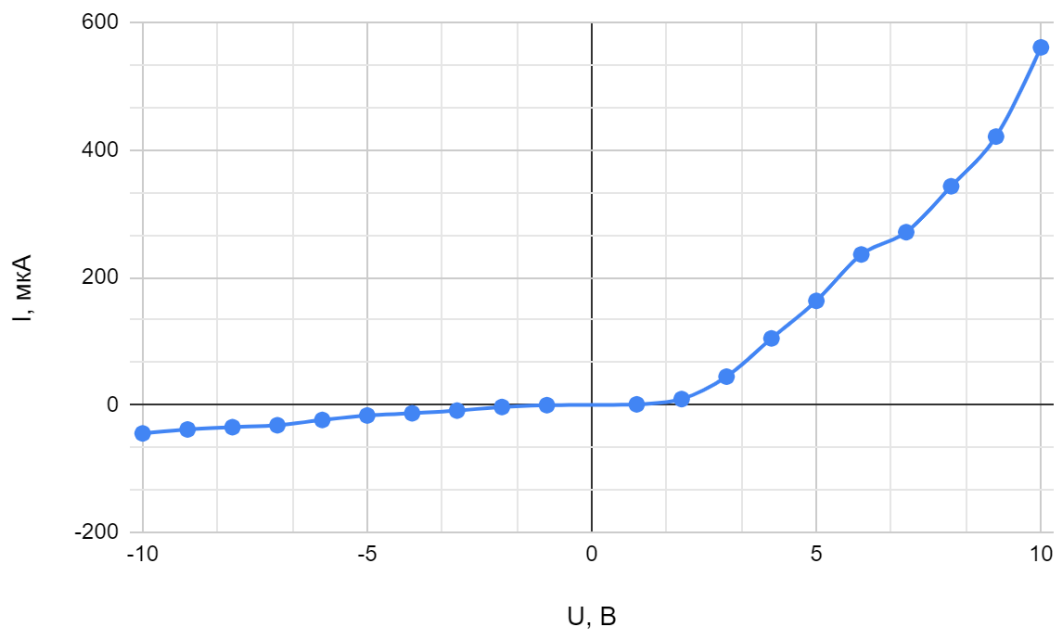


Рис.2.71. ВАХ зразка Cu fast 50 хв на контакті p-Si - меланін

Коефіцієнт випрямлення діода розраховується за формулою:

$$K = \frac{I(U_n)}{I(-U_n)} = \frac{I(U_5)}{I(-U_5)} = \frac{163,2 \text{ мкА}}{16,7 \text{ мкА}} = 9,77$$

Таблиця 16.3.1 - Залежність I/U на контакті підкладка (+) - меланін (-)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	1,4	2,9	9,6	16,8	21,9	26,4	33,4	37,9	42,5	44,6

Таблиця 16.3.2 - Залежність I/U на контакті підкладка (-) - меланін (+)

U, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, мкА	-0,3	-0,5	-0,6	-0,9	-1,2	-1,5	-1,9	-2,4	-3,4	-6,9

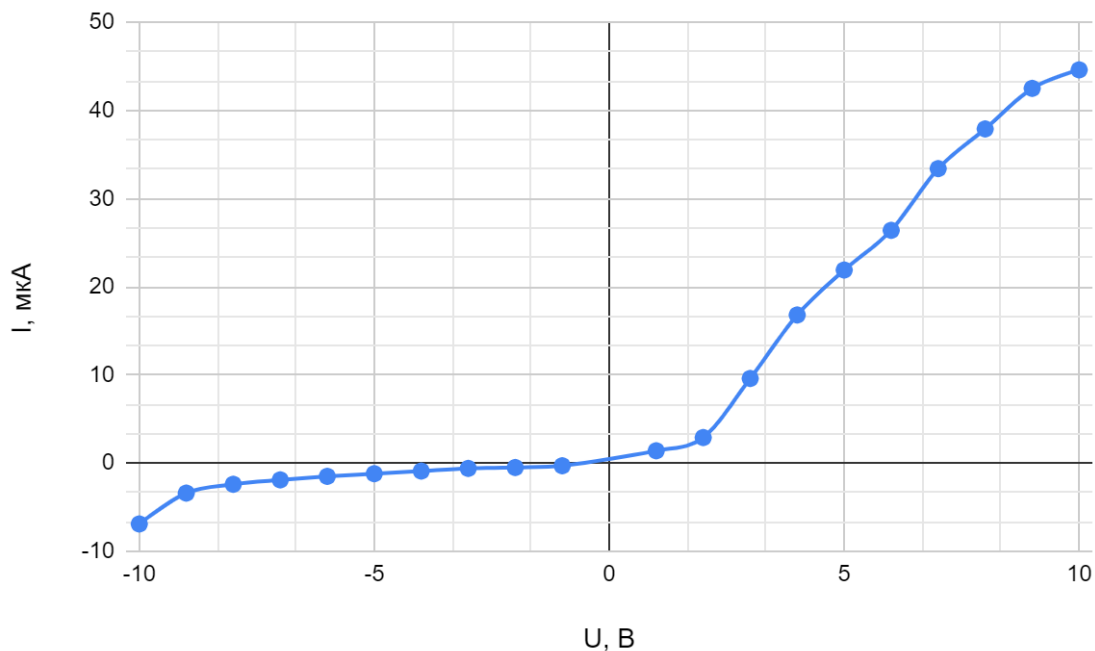


Рис.2.72. ВАХ зразка Cu fast 50 хв на контакті підкладки - меланін

Коефіцієнт випрямлення діода розраховується за формулою:

$$K = \frac{I(U_n)}{I(-U_n)} = \frac{I(U_5)}{I(-U_5)} = \frac{21,9 \text{ мкА}}{1,2 \text{ мкА}} = 18,25$$

За технічними особливостями, подальші розрахунки з даним зразком виявились неможливими.

2.3. РЕЗУЛЬТАТИ ВИМІРЮВАНЬ

Зразок	Час травлення	R, кОм/см	К випр. Mel/por-Si	К випр. Mel/Si	Чутливість до глюкози, мА/%
Au	40 хв. N6 (60-80 нм.)	295,6	3,57	3,47	-
	50 хв. N6 (60-80 нм.)	42,1	18,6	67,1	-
	60 хв. N6 (60-80 нм.)	832,8	1,73	1,27	-
	40 хв. 40-50 нм.	761,9	74,6	2,81	-
	60 хв. 40-50 нм.	65,5	0,25	2,14	0,49
Ag	5-50 очищений	3,58	-	1,68	0,21
	10 с. 30 хв. очищений	2,64	0,58	49,2	-
	10-40 очищений	9,06	-	6,9	-
	10-50 очищений	21,4	-	40,5	-
	15-30 очищений	41,9	-	4,62	0,29
	15-40 очищений	15,62	-	801,4	1,83
	15-50 очищений	14,14	-	8,56	0,2
Cu	30 м. clear 30 хв.	78,9	20,9	5,45	-1,11

Cu	30 м. clear 50 хв.	69,4	2,64	10,9	-
	30 хв. fast	44,5	16,7	9,06	0,76
	50 хв. fast	-	9,77	18,25	-

2.4. ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ

В даному розділі було виготовлено зразки por-Si - melanin з різними параметрами травлення. Було проведено дослідження характеристик цих зразків, та проведена перевірка чутливості до глюкози. Процес виготовлення зразків складався з певних етапів. Процес травлення відбувався з використанням металів: Cu, Au, Ag. Травлення проводилося по різному, з різною кількістю стадій, в залежності від типу металу. Кожний зразок мав різний час травлення, різну щільність металевого шару. Ці умови були створені для можливості відслідкувати певну залежність при вимірюваннях. Задачею експериментальної частини було дослідження ВАХ, в залежності від технології отримання, та дослідження залежності струму від концентрації глюкози. Було виявлено, що резистивні структури меланін - наноструктурований кремній є чутливими до глюкози з коефіцієнтом чутливості до 1,83 мА/%. Найбільш стабільні результати та чітку залежність продемонстрували структури з наночастинками срібла.

3. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

Сьогодні зростає потреба в розробці датчиків та сенсорів зовсім різної природи. Потреба у використанні меланіну для створення чутливих структур не стала виключенням. Метою роботи стало дослідження чутливих структур, створених на гетеропереході пористий кремній - меланін. В даній роботі вже досліджено, що структури з наночастинками срібла показують досить стабільні результати, та є потенційним об'єктом для застосування в промисловості та виробництві.

На світовому ринку в достатньому обсязі та з необхідною якістю подібних сенсорів ще немає. Саме тому можна взяти сміливість та спробувати реалізувати нову технологію на ринку електроніки.

3.1. ОПИС ІДЕЇ

Таблиця 3.1. Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Створення сенсорів на основі меланіну	1. Наукові дослідження	Вдосконалення та перспективи у майбутньому
	2. Медицина	Біо-органічні компоненти, імплантація
	3. Промисловість	Контроль глюкози

Таблиця 3.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко- економічні характеристи ки ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів			W (слабка сторона)	N(нейтральна)	S(сильна сторона)
		Мій зразок	Конкурент№1	Конкурент№2			
1.	Економічні	40 у.о.	50 у.о.	45 у.о.		+	
2.	Призначення	Вимір рівню чутливості до глюкози	Вимір вмісту меланіну	Вимір вмісту глюкози в залежності від умов			+
4.	Технологічні	Не потрібно налаштовувати після виробництва, просте в користуванні	Потребує налаштування після виробництва	Потребує налаштування після виробництва			+
5.	Ергономічні	Система зручна в користуванні та налаштуванні	Система зручна в користуванні та налаштуванні	Система зручна в користуванні та налаштуванні		+	
6.	Екологічності	Екологічний	Екологічний	Екологічний		+	
7.	Безпеки	Безпечний	Безпечний	Безпечний		+	

Конкурент 1: DULCOTEST PEROKS від компанії «ProMinent»

Конкурент 2: Аналізатор рівнів глюкози в крові HemoCue Glucose 205+

3.2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АУДИТ ІДЕЇ ПРОЕКТУ

Таблиця 3.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Просте і логічне керування рівнем глюкози	За допомогою добре проведених досліджень над зразками	В наявності	Доступні
2.	Створення сенсорів на основі меланіну за вже відомими зразками	За допомогою якісних розроблених зразків	Необхідно доробити	Доступні

3.3. АНАЛІЗ РИНКОВИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАПУСКУ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

Таблиця 3.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	400 000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Реєстрація фірми
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Немає
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	300%

Ринок є привабливим для входження.

Таблиця 3.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Необхідність контролювати вміст глюкози	Лабораторії, медичні заклади, промислові заклади	Поведінку формують укази держави, відповідні установи	Надійність, безпечність, компактність, легкість в користуванні

Таблиця 3.6. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Конкуренція	Компанії, які займаються розробками в цій сфері вже зарекомендували себе	Новий підхід до впровадження технології, легкість в користуванні порівняно з конкурентами
2.	Технології	Для виробництва якісних сенсорів потрібне технологічне обладнання	Укладання договору із закордонними розробниками
3.	Наявність кваліфікованого персоналу	Продукт є новим, з точки зору технологій, потрібні люди з навичками	Пошук людей з науково-дослідницьких інститутів, проведення відбору

Таблиця 3.7. Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Попит	Шлях покращення стану та технології виробу дозволить зацікавити більше потенційних клієнтів	Якісна реклама продукту, просування в інтернеті
3	Конкуренція	Спонукає робити більш якісний товар за дешевшу ціну	Вдосконалення технології приладу, пошук необхідного обладнання

Таблиця 3.8. Ступеневий аналіз конкуренції ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1.Тип конкуренції: - олігополія	На світовому ринку є певна кількість фірм, але є лідери	Зробити властивості пристрою унікальними
2.Рівень конкурентної боротьби: - національний	Зацікавленість по всьому світу	Шукати способи виходження на світовий ринок
3.Галузева ознака: - міжгалузева	Пристрій може використовуватись в різних сферах діяльності	Впровадження продукту в кожен потенціальну сферу діяльності
4.Конкуренція за видами товарів: - товарно-родова	Конкуренція виникає між товарами у яких схожі задачі	Покращення зручності та якості пристрою
5.За характером конкурентних переваг: - цінова	Робимо товар більш якісним, але дешевшим	Зменшення собівартості
6.Інтенсивність: - марочна	Бренд має вагоме значення	Рекламою показати що товар заслуговує уваги

Таблиця 3.9. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Interscan Corporation, ProMinent, Мед-М	Немає	Товар продається безпосередньо розробникам	Вимоги до якості продукту	Немає замінників
Висновки:	Конкуренти вже напружували клієнтську базу	Немає	Не диктують умови	Товар повинен бути якісним та привабливим за ціною	Немає обмежень

Необхідне залучення кваліфікованих спеціалістів для розвинення проекту до рівня: універсальний, якісний, простий в користуванні, привабливий за ціною.

Таблиця 3.10. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1.	Якість і надійність продукту	Продукт має бути виконаний якісніше аніж у конкурентів
2.	Зручність та легкість використання	Створення інтуїтивного інтерфейсу з користувачем

3.	Економічність	Зробити ціну максимально привабливою
4	Наукові ресурси	Наявність кваліфікованих кадрів для вдосконалення проекту

Таблиця 3.11. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг конкурентів у порівнянні						
			-3	-2	-1	0	1	2	3
1.	Ступень задоволення користувачів	20		+					
2.	Економічний показник	18			+				
3.	Наявність ресурсів для розвитку	16						+	
4.	Якість та надійність розробки	14				+			

Таблиця 3.12. SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: економічна сторона питання	Слабкі сторони: нестача ресурсів та спеціальних знань для глобального виробництва
Можливості: знижувати собівартість, розвивати бренд продукту, покращувати якість	Загрози: необхідність кваліфікованих кадрів та спеціальних знань

Таблиця 3.13. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1.	Пошук необхідних ресурсів, пошук інвесторів проекту, створення реклами проекту	70%	2 роки
2.	Створення бізнес моделі, вивчення поведінки споживачів, аналіз поведінки конкурентів, аналіз ринку	90%	1 рік

Більш об'єктивною є альтернатива 2.

3.4. РОЗРОБЛЕННЯ РИНКОВОЇ СТРАТЕГІЇ ПРОЕКТУ

Таблиця 3.14. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1.	Державні підприємства	Не готові	Високий	Низька	Середня
2.	Приватні компанії	Готові	Середній	Середня	Середня
Які цільові групи обрано: 2					

Таблиця 3.15. Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1.	1	За рахунок надання товару унікальних принципових властивостей, товар стає унікальним порівняно з конкурентами	Адаптація до нових умов	Стратегія диференціації.

Таблиця 3.16. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопроходом» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1.	Ні	Забирати існуючих у конкурентів	Так, призначення, якісні показники	Наслідкування лідера

Таблиця 3.17. Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформулювати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1.	Сенсор на контакті пористий – кремній меланін	Стратегія лідерства на витратах	Низька собівартість, зручність користування	Зручність, Ціна/Якість, Інновації

3.5. РОЗРОБЛЕННЯ МАРКЕТИНГОВОЇ ПРОГРАМИ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

Таблиця 3.18. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар\технологія	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1.	Зручний інтерфейс для користувача	Простота, легкість	Якість, привабливість
2	Якість продукту	Точні показники	Надійність та простота реалізації

Таблиця 3.19. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Сенсор глюкози на основі сенсора перекису водню		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тл/Е/Ор
	1. Низька вартість	Нм	Вр
	2. Висока якість.	М	Тх
	3. Точність даних.	Нм	Е
	Якість: відповідає стандартам аналогів		
	Пакування: -		
III. Товар із підкріпленням	Марка: -		
	До продажу: гарантія		
	Після продажу: технічна підтримка		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: Патентування			

Таблиця 3.20. Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
	-	50-130 у.о.	10 000 у.о. і вище	30-170 у.о. в місяць

Таблиця 3.21. Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Замовлення товару через сайт, або через розробників	Контакт із замовником, інформування, зберігання	Канал першого рівня.	Збут виконується виробником

Таблиця 3.22. Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
	Використання для визначення рівня концентрації речовини	Прямі – від виробника до клієнта, через інтернет	Приваблива ціна, низька собівартість, якість, приємний інтерфейс	Демонстрація можливостей та переваг товару, пояснення у потрібності для користувача	Обґрунтування засноване на вигоді, зручності, вмотивованості

3.6. ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ

Спостерігається можливість ринкової комерціалізації проекту через наявний попит на сенсорні структури та системи.

Ринок має своїх лідерів та основних виробників, але вдосконалення формули та технології потребує кожний продукт. Із вдосконаленням технології зросте і попит на даний продукт, що і може дати можливість заволодіти цільовою аудиторією.

Продукт має унікальні властивості та характеристики, тому обрано стратегію диференціації.

З огляду перспектив застосування наноструктур на основі меланіну, є доцільним впровадження технології на ринок.

4. ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В роботі для вирішення питання нових технологій сенсорів було використано органічну сполуку меланін, яка дає досить вагомі перспективи застосування в електроніці. Меланін, при певних умовах, веде себе як напівпровідник та проявляє високу чутливість.

Отримані під час роботи зразки працюють за певним принципом: речовина-аналіт потрапляючи на поверхню сенсора спричиняє зміну електрофізичних параметрів, які реєструються за допомогою необхідних приладів. Побудовано вольт-амперні характеристики та досліджено залежність струму від концентрації аналіту.

Реалізація стартап-проекту можлива завдяки новій технології чутливих структур шляхом впровадження меланіну в структуру сенсора. Продукт має унікальні властивості та характеристики, тому обрано стратегію диференціації. З огляду перспектив застосування наноструктур на основі меланіну, є доцільним впровадження технології на ринок.

Водорозчинний меланін є органічною напівпровідниковою структурою, яка утворює з наноструктурованим кремнієм гетероперехід із коефіцієнтом випрямлення до 74.

Резистивні структури меланін - наноструктурований кремній є чутливими до глюкози з коефіцієнтом чутливості до 1,83 мА/%.

В роботі не було відмічено чіткої кореляції між чутливістю, випрямляючими властивостями та технологією отримання зразків, проте найбільш стабільні результати були отримані для структур з наночастинками срібла.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Меланин для молекулярной фотоэлектроники // [Електронний ресурс] URL: <http://melanin.com.ua/elektronika/29-melanin-dlya-molekulyarnoy-fotoelektroniki.html> (дата звернення 8.11.2019).
2. Меланиновый квантовый чип // [Електронний ресурс] URL: <http://melanin.com.ua/elektronika/25-melaninovyy-kvantovyy-chip.html> (дата звернення 10.11.2019).
3. Меланиновая пленка // [Електронний ресурс] URL: <http://melanin.com.ua/elektronika/23-vodorostvorimyy-melanin-v-elektronnoy-promyshlenosti.html> (дата звернення 15.11.2019).
4. Mahbubur R., Ashamed S., Jinn J. A Comprehensive Review of Glucose Biosensors Based on Nanostructured Metal-Oxides // *Sensors*. – 2010. – P. 2-5.
5. Oliver S., Toumazou C. Review Article Glucose sensors: a review of current and emerging technology // A. E. G. Cass and D. G. Johnston Institute of Biomedical Engineering and Department of Metabolic Medicine, 2008. – P. 3.
6. Prota G., *Melanins and Melanogenesis*. // Academic Press, San Diego, 1998. – P. 233-236.
7. Sava V., Galkin B., Hong M.-Y., Yang P.-C., Huang G.S., 2001a. // *Food Res. Int.*, 2006. – P. 337–343.
8. Smit N.P., Vink A.A., Kolb R.M., Steenwinkel M.J., van den Berg P.T., van Nieuwpoort F., Roza L., Pavel S., *Photochem. Photobiol.* // 2001 74 (3), - P. 424–430.
9. G. Steven Huang, Meng-Te Wang A. B., Chia-Wei Su A., Yu-Shiun Chen A. B., Meng-Yen Hong Picogram detection of metal ions by melanin-sensitize piezoelectric sensor // 2007. – P. 1-7.

10. Marina Piacenti da Silva, Jessica Colnaghi Fernandes, Natalia Biziak de Figueiredo, Mirko Congiu, Marcelo Mulato, and Carlos Frederico de Oliveira Graeff // Melanin as an active layer in biosensors. – 2014. – P. 5-15.
11. Zaidi S., Shign J. Recent developments in nanostructure based electrochemical glucose sensors // Talanta. 2015. – P. 2–4.
12. Wang H., Lee A. Recent developments in blood glucose sensors // Journal of food and drug analysis. – 2014. – P. 8.
13. Brungo P., Lien Y., Avagyan A., Sivagurue M., Hsu K. Direct Imprinting of Porous Silicon via Metal-Assisted Chemical Etching // Advanced Functional Materials. – 2016. – P. 1–2.
14. A. Kovach, U. Meschederr; Transport mechanisms in nanostructured porous silicon layers for sensor and filter applications, Sensors and Actuators B 175 (2012) 179–185.
15. Болотов, В.В. Влияние этанола на оптические и электрофизические параметры пористого кремния // В.В. Болотов, Ю.А. Стенькин, В. Е. Росликов [и др.] // Физика и техника полупроводников. – 2009. – Т. 43, вып.7. – С. 957–960.
16. В.В. Трегулов, Пористый кремний: технология, свойства, применение: моногр. // Ряз. гос. ун-т им. С.А. Есенина. – Рязань, 2011. – 124 с.
17. X.-M. Chens, Z.X. Cay, Z.Y, Huang, M. Oyamac, Y.Q, Jieng, X. Chen, Ultrafine palladium nanoparticles grown on graphene nanosheets for enhanced electrochemical sensing of hydrogen peroxide, // Electrochim. Acts 97 (2013) 398– 403.
18. Toumazou C.I. Review Article Glucose sensors: a review of current and emerging technology // A. G. Cacss and D. G. Johnston Institute of Biomedical Engineering and Department of Metabolic Medicine, 2008. – P. 3.